EFFETS DE LA COUPE AVEC PROTECTION DE LA RÉGÉNÉRATION SUR LA PRODUCTION DES PEUPLEMENTS FORESTIERS

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N°146

Par

Vincent Laflèche,

Jean Bégin

et

Jean-Claude Ruel

Québec

Effets de la coupe avec protection de la régénération sur la production des peuplements forestiers

2004

Mémoire de recherche forestière n° 146

Par

Vincent LAFLECHE, ing.f., M.Sc.
Jean BEGIN, ing.f., D.Sc.

et

Jean-Claude RUEL, ing.f., M.Sc., *Ph.D.*

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles,
de la Faune et des Parcs
Direction de la recherche forestière

Mandat de la DRF

Le mandat de la Direction de la recherche forestière (DRF) au sein du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs est de participer activement à l'amélioration de la pratique forestière au Québec en réalisant des travaux principalement à long terme et d'envergure nationale, lesquels intègrent à la fois des préoccupations de recherche fondamentale et de recherche appliquée.

Les mémoires de recherche forestière de la DRF

Depuis 1970, chacun des Mémoires de recherche forestière de la DRF est révisé par un comité *ad hoc* formé d'au moins trois experts indépendants. Cette publication est produite et diffusée à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation d'un projet ou d'une expérience. Ce document à tirage limité est également disponible dans notre site Internet en format pdf.

Vous pouvez adresser vos demandes à :

Ministère des Ressources naturelles,
de la Faune et des Parcs
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec)
Canada G1P 3W8
Courriel :
recherche.forestiere@mrnfp.gouv.qc.ca
Internet :
www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche

Notes biographiques

Vincent Lafléche est détenteur d'un baccalauréat en aménagement et environnement forestiers décerné par l'Université Laval en 1997. Il obtient en 2000 un diplôme de maître ès sciences de ce même établissement. Depuis 1999, il est professionnel de recherche en écologie et sylviculture à la Faculté de foresterie et géomatique de l'Université Laval.

Jean Bégin a gradué en génie forestier à la Faculté de Foresterie et de géodésie de l'Université Laval en 1981. En 1984, cette université lui décernait le diplôme de maître ès sciences forestières. Poursuivant ses études en Suisse, il obtient en 1991 un doctorat ès sciences techniques de l'École polytechnique fédérale de Zurich. Il a enseigné à l'École de sciences forestières de l'Université de Moncton de 1986 à 1990. Depuis, il travaille à titre de professeur de dendrométrie à la Faculté de foresterie et de géomatique de l'Université Laval où ses activités de recherche portent sur la productivité des forêts et les coupes partielles.

Jean-Claude Ruel a gradué en génie forestier à la Faculté de foresterie et de géodésie de l'Université Laval en 1981. Cette même institution lui décernait une maîtrise en 1983, puis un doctorat en aménagement forestier et sylviculture en 1987. De 1986 à 1991, il a œuvré comme chercheur à la Direction de la recherche et du développement du Ministère des Forêts du Québec. Depuis, il travaille à titre de professeur en sylviculture à la Faculté de foresterie et de géomatique de l'Université Laval où ses activités de recherche portent sur la régénération naturelle et le risque de chablis.

105-00900

Préambule

Ce mémoire constitue un recueil et une analyse de l'information pertinente provenant de trois études qui traitent des effets de la coupe avec protection de la régénération sur la productivité à long terme des peuplements forestiers. Il comprend quatre parties distinctes : la première, reliée au projet de FERIC-CFL, traite de l'information sur l'*Evolution de la régénération après coupe à blanc mécanisée*, la seconde partie porte sur les *Aires d'observations du Centre de foresterie des Laurentides* et la troisième sur les *Aires permanentes de la compagnie Abitibi-Price*. Finalement, la quatrième partie constitue une synthèse de l'ensemble de l'information contenue dans ces trois projets. En ce qui concerne la première partie, certains éléments qui y paraissent sont tirés d'un article déjà paru.

Note de l'éditeur

La publication des trois études rapportées dans ce mémoire concrétise un engagement pris par la DRF, un de ses chercheurs, aujourd'hui retraité, ayant été associé au démarrage de ce projet. Le contenu de ce mémoire n'engage donc que les auteurs et ne constitue en aucune façon un endossement de la part du Ministère. L'éditeur tient aussi à remercier la revue The Forestry Chronicle et l'Institut forestier du Canada qui ont autorisé la reproduction intégrale des figures apparaissant dans la première partie de cet ouvrage.

Remerciements

Cet ouvrage a été rendu possible grâce à la participation financière du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Les auteurs désirent remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de chacune des trois études, en l'occurrence MM. Alexis Achim, François Ouellet, Roch Plusquellec et Chhun-Huor Ung pour celle de *FERIC-CFL*, de MM. Martin Riopel et Stéphane Tremblay pour celle des *Aires d'observations du Centre de foresterie des Laurentides* et de MM. David Morin et Réjean Gagnon pour celle des *Aires permanentes de la compagnie AbitibiPrice*. Des remerciements s'adressent également à M. Pierre Bélanger et Mme Sylvie Bourassa du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs pour la révision, l'édition et la mise en page de ce document.

Résumé

Les effets de la coupe avec protection de la régénération sur le rendement à long terme des peuplements forestiers ont été étudiés à partir de trois études renfermant des données de vieux dispositifs d'inventaires permanents, soit ceux du projet FERIC-CFL, des aires d'observations du Centre de foresterie des Laurentides (CFL) et des aires permanentes de la compagnie Abitibi-Price. La dynamique de la régénération de peuplements tels que les pessières noires et les sapinières a été suivie sur une période de 30 ans depuis la coupe. Dans les pessières noires, la composition des peuplements à 30 ans se rapproche de celle des peuplements originels. L'épinette noire domine largement les parterres de coupe tandis que le sapin, bien qu'abondant en régénération préétablie, ne constitue pas une composante majeure, comme on aurait pu le présumer. Dans les sapinières, le sapin domine largement l'épinette noire 30 ans après la coupe. Pour ce qui est des feuillus, ils ont grandement profité de l'ouverture du couvert pour s'établir en abondance mais cet envahissement n'a été que temporaire dans la majorité des aires de coupe. L'évolution de la composition de ces peuplements a également été étudiée en regard des caractéristiques de la station et du peuplement. L'indice de diamètre et le coefficient de distribution, tous deux évalués cinq ans depuis la coupe, ont influencé de façon notable l'évolution de la composition spécifique des peuplements. Ainsi, les peuplements qui présentaient un coefficient de distribution élevé et un fort indice de diamètre en épinette à l'âge de cinq ans se sont développés en pessières noires. De plus, ces caractéristiques expliquent à différents degrés le rendement à long terme des peuplements. La taille et la structure de la régénération, évaluées quelques années à la suite de la coupe, ont une influence majeure dans la production des peuplements de seconde venue. De manière générale, les aires pourvues de nombreuses tiges résineuses dans les classes de hauteur les plus élevées fourniront un meilleur volume de résineux à maturité. La protection des tiges de bonne taille lors des opérations pourrait alors réduire de façon notable la période de révolution des peuplements. Le coefficient de distribution, évalué à l'âge de dix ans, s'est avéré, dans ce cas-ci, une variable peu explicative quant au rendement des peuplements à venir, en raison du faible nombre d'observations disponibles. Toutefois, des études additionnelles permettraient de mieux expliquer cette relation. L'influence de ce dernier est alors fort probablement éclipsée par d'autres variables notamment la taille et la structure de la régénération. Pour une meilleure prévision à long terme du rendement de cette régénération, des caractéristiques telles que le pourcentage de cime vivante et l'importance des blessures causées lors des opérations devraient être intégrées dans les inventaires après coupe.

Abstract

A study into the effects of harvesting with regeneration and soil protection on the long-term productivity of forest stands was carried out using three reports that contained inventory data from old permanent sample plots. Data used were from the FERIC-LFC (Laurentian Forestry Centre) project, the LFC observation areas, and permanent inventory plots belonging to Abitibi-Price. Regeneration dynamics in stands such as black spruce and balsam fir was monitored over a period of 30 years following cutting. In black spruce types, composition at age 30 resembles the original stands. Here, black spruce largely dominates the cutovers, whereas fir, though it was abundant as advance growth, is no longer a major stand component, as may have been presumed following the harvest. In balsam fir types, fir largely dominates black spruce 30 years after the cut. In addition, the abundant hardwood growth that resulted from opening the canopy was only temporary in most cutover areas. The evolution of the composition of these stands was also studied in relation to site and stand characteristics. The diameter index and the coefficient of distribution were both evaluated five years after the cut, and they significantly influenced how stand composition evolved. Thus, stands that had an elevated distribution coefficient and a high black spruce diameter index at age five developed into black spruce types. Moreover, these characteristics explain to varying degrees the long-term productivity of the stands. The size and structure of the regeneration, evaluated a few years after the cut, have a major influence on the productivity of second-growth stands. In general terms, areas that are well-stocked to softwood stems in the higher height classes will produce more softwood volume at maturity. Protecting good-size stems during harvesting operations could significantly reduce stand rotation age. In this case, the distribution coefficient, evaluated at age ten, proved to be a poor explanatory variable in terms of future stand yield, because there were too few available observations. However, additional studies would help to better explain this relationship. Its influence is very likely eclipsed by other variables, especially the size and structure of the regeneration. To better forecast the long-term productivity of regeneration, characteristics such as percent live crown and the importance of wounds caused by harvesting operations should be integrated with post-cut inventories.

Table des matières

page

Préambule iii

Note de l'éditeur iv

Remerciements v

Résumé vii

Abstract viii

Liste des tableaux xiii

Liste des figures xv

Introduction générale 1

Première partie - FERIC-CFL 3

Introduction 5

Chapitre premier – Matériel et méthodes 7
1.1 Description des aires d'observations 7
1.1.1 Peuplements d'épinette noire 7
1.1.2 Peuplements de sapin 7
1.1.3 Peuplements de pin gris 7
1.1.4 Peuplements mélangés 7

1.2 Échantillonnage de la végétation 10
1.3 Dynamique de l'épinette noire et du sapin baumier 11
1.4 Analyses statistiques 11

Chapitre deux - Résultats 13
2.1 Évolution de la dynamique de la régénération après coupe 13
2.1.1 Évolution du coefficient de distribution et de la densité après coupe 13
2.1.1.1 Peuplements d'épinette noire 13
2.1.1.2 Peuplements de sapin 13
2.1.1.3 Peuplements de pin gris 18
2.1.1.4 Peuplements mélangés 18

page

2.1.2 Évolution de la hauteur et de la croissance en hauteur de l'épinette noire et du sapin baumier 18

2.2 Relation entre l'abondance de la régénération et la production 25

2.2.1 Coefficient de distribution à 10 ans par rapport au volume à 30 ans 25

2.2.2 Densité à 10 ans par rapport au volume à 30 ans 25

2.3 Relation entre la taille et structure de la régénération et le volume 27

2.3.1 Nombre de tiges selon la classe de hauteur-diamètre à 10 ans par rapport au volume à 30 ans 27

2.3.1.1 Peuplements d'épinette noire 27

2.3.1.2 Peuplements de sapin 27

2.3.2 Coefficient de distribution du meilleur sujet à 10 ans par rapport au volume à 30 ans 29

Chapitre trois - Discussion 31

3.1 Évolution de la dynamique de la régénération depuis la coupe 31

3.1.1 Évolution du coefficient de distribution et de la densité depuis la coupe 31

3.1.1.1 Peuplements d'épinette noire 31

3.1.1.2 Peuplements de sapin 31

3.1.1.3 Peuplements de pin gris 32

3.1.1.4 Peuplements mélangés 33

3.1.2 Évolution de la hauteur et de la croissance en hauteur de l'épinette noire et du sapin baumier 33

3.2 Effet des caractéristiques de la régénération à 10 ans sur la production à 30 ans 34

Conclusion 37

page

Seconde partie - Aires d'observations du CFL 39

Introduction 41

Chapitre premier - Méthodes 43

1.1 Description des aires d'observations 43

1.1.1 Rivière Vermillon 43

1.1.2 Rivière aux Rats 43

1.1.3 Rivière Bell 43

1.1.4 Rivière Matane 44

1.2 Échantillonnage 44

1.3 Calcul de l'indice de qualité de station 44

1.4 Calcul du volume marchand de la placette 45

1.5 Modélisation du volume 45

Chapitre deux – Résultats 47

2.1 Modélisation de la production pour les pessières noires 47

2.1.1 Évolution de la production à la rivière aux Rats 47

2.1.2 Évolution de la production à la rivière Bell 48

2.1.3 Évolution de la production à la rivière Vermillon 48

2.2 Modélisation de la production pour les sapinières 48

2.2.1 Évolution de la production à la rivière Matane 48

2.3 Comparaison de l'évolution de la production 52

2.3.1 Aires d'observations des rivières aux Rats, Bell et Vermillon 52

2.3.2 Aires d'observations par rapport aux classes de fertilité de Vézina et Linteau 52

2.3.2.1 Rivière aux Rats 52

2.3.2.2 Rivière Bell 52

2.3.2.3 Rivière Vermillon 52

2.3.2.4 Rivière Matane 52

Chapitre trois - Discussion 57

3.1 Effet de la taille de la régénération sur la productivité 57

3.2 Effet de l'indice de qualité de station sur la production 57

3.3 Évolution de la production des pessières et des sapinières 58

Conclusion 59

page

Troisième partie - Abitibi-Price 61

Introduction 63

Chapitre premier - Méthodes 65
1.1 Territoire à l'étude 65
1.2 Type de peuplement avant coupe 65
1.3 Classe de station 65
1.4 Dynamique des peuplements 67
1.4.1 Échantillonnage de la végétation 67
1.5 Estimation des caractéristiques du peuplement cinq ans après la coupe 69
1.6 Relation hauteur-diamètre 69
1.7 Calcul du volume marchand 69
1.8 Modélisation de la production 69

Chapitre deux - Résultats 71
2.1 Dynamique des peuplements en fonction des caractéristiques de station et du peuplement 71
2.1.1 Analyse factorielle des correspondances (AFC) 71
2.1.2 Patrons de croissance, types de peuplement et classes de station 71
2.1.3 Patrons de croissance et indices de diamètre 72
2.1.4 Patrons de croissance et coefficients de distribution de la régénération 72
2.1.5 Patrons de croissance : ensemble des variables 72
2.2 Modélisation de la production 72
2.2.1 Modélisation de la production à l'échelle du peuplement 72
2.2.1.1 Production de résineux dans le type épinette-sapin 72
2.2.1.2 Production de résineux dans le type mélangé 72
2.2.1.3 Production de résineux dans le type épinette 75
2.2.2 Modélisation de la production selon l'espèce 75
2.2.2.1 Production de sapin dans le type épinette-sapin 75
2.2.2.2 Production de sapin dans le type mélangé 75
2.2.2.3 Production de sapin dans le type épinette 75
2.2.2.4 Production de l'épinette dans le type épinette-sapin 75
2.2.2.5 Production de l'épinette dans le type mélangé 77
2.2.2.6 Production de l'épinette dans le type épinette 77

Chapitre trois - Discussion 79
3.1 Dynamique des peuplements en fonction des caractéristiques de station et du peuplement 79
3.1.1 Type de peuplement 79
3.1.2 Classe de station 79
3.1.3 Indice de diamètre et coefficient de distribution de la régénération 79
3.2 Modélisation de la production à l'échelle du peuplement 80
3.2.1 Production des trois types de peuplements 80
3.2.2 Effet de la taille et du coefficient de distribution de la régénération 80
3.2.3 Effet de la classe de station 81
3.3 Modélisation de la production selon l'espèce 81
3.3.1 Production de sapin et d'épinette dans le type de peuplement épinette-sapin 81
3.3.2 Production de sapin et d'épinette dans le type de peuplement mélangé 81
3.3.3 Production de sapin et d'épinette dans le type de peuplement mélangé 81

Conclusion 83

Quatrième partie - Synthèse de l'information 85

Chapitre premier- Dynamique de la régénération après coupe 87
1.1 Évolution de la composition en essences des peuplements 87
1.2 Évolution de la hauteur et de la croissance en hauteur de l'épinette noire et du sapin baumier 88

Chapitre deux – Effet des caractéristiques de la régénération sur la production à long terme des peuplements 89
2.1 Fertilité de la station 89
2.2 Coefficient de distribution 89
2.3 Taille et structure 89

Références bibliographiques 91

Liste des tableaux

page

Tableau 1. Procédés de récolte utilisés 8

Tableau 2. Caractéristiques écologiques des peuplements étudiés 9

Tableau 3. Coefficients de corrélation entre le volume de résineux à 30 ans et les caractéristiques de la régénération à 10 ans dans les pessières et les sapinières 27

Tableau 4. Caractéristiques statistiques de l'équation de la production des pessières noires 47

Tableau 5. Caractéristiques statistiques de l'équation de la production des sapinières 52

Tableau 6. Classe de station 66

Tableau 7. Analyse de variance de la production de résineux pour le type de peuplement avant coupe comme variable explicative 74

Tableau 8. Analyse de variance de la production de résineux pour le type de peuplement épinette-sapin avant coupe 74

Tableau 9. Analyse de variance de la production de résineux pour le type de peuplement mélangé avant coupe 75

Tableau 10. Analyse de variance de la production de résineux pour le type de peuplement épinette avant coupe 76

Tableau 11. Analyse de variance de la production du sapin pour le type de peuplement épinette-sapin avant coupe 76

Tableau 12. Analyse de variance de la production du sapin pour le type de peuplement mélangé avant coupe 76

page

Tableau 13. Analyse de variance de la production du sapin pour le type de peuplement épinette avant coupe 76

Tableau 14. Analyse de variance de la production de l'épinette pour le type de peuplement épinette-sapin avant coupe 77

Tableau 15. Analyse de variance de la production de l'épinette pour le type de peuplement mélangé avant coupe 78

Tableau 16. Analyse de variance de la production de l'épinette pour le type de peuplement épinette avant coupe 78

page

Liste des figures

page

Figure 1. Localisation des aires de coupe à l'étude 8

Figure 2. Disposition des grappes (A) et des blocs (B) pour l'échantillonnage des aires de coupe jusqu'à 20 ans 10

Figure 3. Évolution du coefficient de distribution sur les aires d'épinette noire 14

Figure 4. Évolution de la densité sur les aires d'épinette noire 15

Figure 5. Évolution du coefficient de distribution sur les aires de sapin 16

Figure 6. Évolution de la densité sur les aires de sapin 17

Figure 7. Évolution du coefficient de distribution sur les aires de pin gris 19

Figure 8. Évolution de la densité sur les aires de pin gris 20

Figure 9. Évolution du coefficient de distribution sur les aires mélangées 21

Figure 10. Évolution de la densité sur les aires mélangées 22

Figure 11. Évolution après coupe de la hauteur des tiges d'épinette noire et de sapin baumier sur les aires de coupe 23

Figure 12. Évolution après coupe de la hauteur des tiges d'épinette noire et de sapin baumier dans les placettes 24

Figure 13. Comparaison de la hauteur des tiges d'épinette noire et de sapin baumier 5 et 30 ans après la coupe dans les sous-placettes 25

page

Figure 14. Volume des principales essences à 30 ans en fonction de leur coefficient de distribution à 10 ans sur les aires d'épinette noire, de sapin, de pin gris et mélangées 26

Figure 15. Volume des principales essences à 30 ans en fonction de leur densité à 10 ans sur les aires d'épinette noire, de sapin, de pin gris et mélangées 26

Figure 16. Densité des tiges selon la classe de hauteur et de diamètre sur les aires d'épinette noire, 10 ans après la coupe 28

Figure 17. Densité des tiges selon la classe de hauteur et de diamètre sur les aires de sapin, 10 ans après la coupe 28

Figure 18. Volume des principales essences à 30 ans en fonction du coefficient de distribution de celles qui constituaient les meilleurs sujets à 10 ans sur les aires d'épinette noire, de sapin, de pin gris et mélangées 29

Figure 19. Évolution de la production des pessières noires de rivière aux Rats en fonction de l'indice de diamètre 49

Figure 20. Évolution de la production des pessières noires de rivière aux Rats en fonction de l'indice de qualité de station 49

Figure 21. Évolution de la production des pessières noires de rivière Bell en fonction de l'indice de diamètre 50

Figure 22. Évolution de la production des pessières noires de rivière Bell en fonction de l'indice de qualité de station 50

Figure 23. Évolution de la production des pessières noires de rivière Vermillon en fonction de l'indice de diamètre 51

Figure 24. Évolution de la production des pessières noires de rivière Vermillon en fonction de l'indice de qualité de station 51

Figure 25. Évolution de la production des sapinières de rivière Matane en fonction de l'indice de diamètre 53

Figure 26. Évolution de la production des sapinières de rivière Matane en fonction de l'indice de qualité de station 53

Figure 27. Évolution de la production des pessières noires des rivières aux Rats, Bell et Vermillon 54

Figure 28. Évolution de la production de rivière aux Rats 54

Figure 29. Évolution de la production de rivière Bell 55

Figure 30. Évolution de la production de rivière Vermillon 55

Figure 31. Évolution de la production de rivière Matane 56

Figure 32. Localisation de l'aire à l'étude 66

Figure 33. Relation entre les patrons de croissance, les classes de station et les types de peuplement avant coupe, selon l'analyse factorielle des correspondances 71

Figure 34. Relation entre les patrons de croissance et les indices de diamètre de chacune des espèces, selon l'analyse factorielle des correspondances 73

Figure 35. Relation entre les patrons de croissance et les coefficients de distribution de chacune des espèces, selon l'analyse factorielle des correspondances 73

Figure 36. Évolution de la production résineuse, dans le type de peuplement épinette-sapin avant coupe, selon l'indice de diamètre résineux à cinq ans ($ID_{5\,résineux}$) 74

Figure 37. Évolution de la production du sapin, dans le type de peuplement épinette avant coupe, selon l'indice de diamètre du sapin à cinq ans 77

Figure 38. Évolution de la production de l'épinette, dans le type de peuplement mélangé avant coupe, selon l'indice de diamètre de l'épinette à cinq ans 78

Introduction générale

L'obtention d'une régénération suffisante est une condition cruciale dans la reconstitution du peuplement qui succède à une perturbation. La mécanisation des opérations forestières au cours des dernières décennies a soulevé plusieurs interrogations relatives à la destruction de la régénération préétablie et à l'efficacité des semis de s'établir à la suite de la coupe. Le succès de la régénération dépend souvent du sort réservé à la régénération préétablie. C'est dans cette optique qu'on se fie beaucoup, aujourd'hui, sur la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) pour renouveler les peuplements résineux et mélangés à dominance résineuse.

Cette stratégie introduite dans la Stratégie de protection des forêts (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC 1994) semble être une mesure appropriée pour parvenir à cette fin (POMINVILLE 1993, POTHIER 1996). Ces peuplements se prêtent généralement bien à ce type de coupe compte tenu que la régénération préétablie y est souvent abondante (HATCHER 1960, DOUCET 1988, RUEL *et al.* 1998). À la suite de la coupe, de nombreux parterres présentent une régénération abondante dont les dimensions sont parfois considérables. La protection de la régénération lors de la CPRS et plus particulièrement celle des gaules lors de la coupe avec protection de la haute régénération (CPHR), associée à une réaction positive des tiges, pourraient influencer d'une façon tangible la production à long terme des peuplements de seconde venue.

La prévision de la croissance et de la production des peuplements de seconde venue s'avère donc un élément de première importance. Une connaissance insuffisante de la dynamique des peuplements en phase juvénile (RUEL *et al.* 1998) et la multitude de variables qui influencent le développement des peuplements à la suite d'une coupe rendent cette tâche particulièrement difficile (HARVEY *et al.* 1995). L'identification, peu de temps après coupe, des variables reflétant le mieux la production et la composition des peuplements à maturité s'avère alors fortement souhaitable afin de permettre une meilleure estimation de la possibilité forestière. Le coefficient de distribution de la régénération est une variable communément utilisée pour évaluer le succès de la régénération dans les aires de coupe. Plusieurs, dont POMINVILLE et DOUCET (1993), doutent que la performance d'une mesure ponctuelle semblable, puisse, à elle seule, évaluer si la productivité du peuplement à maturité sera au moins équivalente au peuplement précédent. Selon certains auteurs, la taille de la régénération devrait être prise en compte lors des inventaires après coupe, ce qui améliorerait ainsi notre capacité à estimer la production à venir des peuplements de seconde venue (BERTRAND *et al.* 1992).

Le Manuel d'aménagement forestier formule des hypothèses à propos des effets réels de plus d'une trentaine de traitements sylvicoles que les bénéficiaires de Contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF) peuvent utiliser pour remplir leurs obligations d'aménagement. Il prévoit également l'obligation de vérifier ces hypothèses de façon à quantifier l'effet réel de ces traitements, notamment celui de la CPRS.

Bien que plusieurs travaux de recherche inhérents à la croissance de la régénération préétablie depuis la coupe totale aient eu lieu, et soient, encore aujourd'hui, en cours dans différentes régions du Québec, peu ont comme objectif premier la validation des hypothèses liées à la production. Puisque cette validation doit reposer sur une période d'observations suffisamment longue, les données de vieux dispositifs d'inventaires permanents, notamment ceux du projet FERIC-CFL, des aires d'observations du CFL et de la compagnie Abitibi-Price deviennent précieuses (DOUCET et SHEEDY 1993). Pour certain de ces dispositifs, la composition de la régénération depuis la coupe et l'évolution de la production sur une période de 30, voire 40 à 50 ans depuis la coupe sont connues.

Afin d'améliorer les connaissances des effets réels de la CPRS sur la production à long terme de différents peuplements forestiers, l'Université Laval a obtenu, récemment, le mandat de produire une synthèse de l'information des trois projets mentionnés précédemment. Le présent travail retient les objectifs spécifiques suivants :

1) le suivi de l'évolution de la dynamique de la régénération à long terme dans les peuplements boréaux;
2) l'évaluation de la production des peuplements en fonction du coefficient de distribution de la régénération après coupe;
3) l'évaluation de la production des peuplements en fonction de la taille et de la structure de la régénération après coupe;

4) la modélisation de la production des peuplements selon différentes caractéristiques de station et de peuplement.

Cet ouvrage constituera alors une validation des hypothèses du Manuel d'aménagement forestier en regard de la production des peuplements à la suite d'une CPRS. D'abord, il recueillera et analysera l'information pertinente de chacun des projets à l'étude. Ensuite, il effectuera la synthèse de l'ensemble de l'information et établira le lien entre les différents objectifs visés des trois projets concernés.

Première partie

FERIC-CFL

Introduction

Afin d'évaluer les effets à long terme de l'exploitation mécanisée dans l'est du Canada et de mieux prévoir l'évolution de la dynamique des peuplements de seconde venue, l'Institut canadien de recherche sur les pâtes et papiers et le Service canadien des forêts entreprennent, au milieu des années 1960, une étude d'envergure commune sur ces aspects. Cette étude porte sur 36 étendues, coupées à blanc, de peuplements d'epinette noire (*Picea mariana* [Mill] BSP), de sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill), de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et mélangés localisés dans tout l'est du Canada.

La première partie de cette étude vise la réalisation des trois objectifs suivants :

1) suivre l'évolution de la dynamique de la régénération au cours des 30 premières annees après la coupe. On présume que l'évolution des aires de coupe avec protection de la régénération se rapprochera de celle de peuplements abondamment régénérés qui n'ont fait l'objet d'aucune mesure particulière de protection lors de la récolte;

2) déterminer l'effet de l'abondance de la régénération après la coupe sur la production des peuplements;

3) déterminer l'effet de la structure et de la taille de la régénération après la coupe sur la production des peuplements.

Chapitre premier

Matériel et méthodes

1.1 Description des aires d'observations

À l'origine, le projet regroupait 36 aires d'observations permanentes réparties à travers l'est du Canada. Des 21 aires localisées au Québec, quinze ont pu être retracées. Ces quinze aires feront donc l'objet du présent ouvrage (Figure 1). Chacune de ces aires qui regroupaient des placettes de 1,5 à 4 ha a été installée avant la coupe dans différents peuplements à maturité de bois à pâte. Ces derniers n'avaient subi aucun traitement préalable. Seuls les peuplements pourvus d'une abondante régénération préétablie résineuse ont été retenus car ils étaient davantage susceptibles de constituer la base de la reproduction du peuplement à venir (Frisque *et al.* 1978). Parmi ces peuplements, on retrouve quatre peuplements dominés par l'épinette noire, quatre par le sapin, trois par le pin gris et quatre sont composés d'un mélange de diverses essences. La description détaillée de chacun de ces peuplements est tirée de l'étude de Ruel *et al.* (1998). Les peuplements ont été récoltés par les compagnies de pâte et papier participant à l'étude, sans qu'aucune attention particulière n'ait été apportée à la protection de la régénération préexistante. Toutes les opérations se sont déroulées en l'absence de neige au sol. Les divers procédés d'exploitation utilisés sont énumérés au tableau 1.

1.1.1 Peuplements d'épinette noire

L'étude a permis d'échantillonner une gamme assez vaste de conditions dans les peuplements d'épinette noire (Tableau 2). Sur l'aire 10 se retrouvait un peuplement équienne d'épinette noire sur sol organique. Sur l'aire 13, une station modérément bien drainée, poussait une pessière à mousses hypnacées de structure quelque peu irrégulière. Sur l'aire 16, le sapin constituait 22 % de la surface terrière avant coupe, ce qui la distinguait des autres pessières étudiées. Ce peuplement possédait une structure biétagée. L'étage dominant se composait d'épinette noire alors qu'en sous-étage se retrouvait un mélange d'épinette noire et de sapin. Sur l'aire 34 croissait une pessière à *Ledum* presque pure de structure inéquienne, typique des stations pauvres nordiques (Weetman *et al.* 1973).

1.1.2 Peuplements de sapin

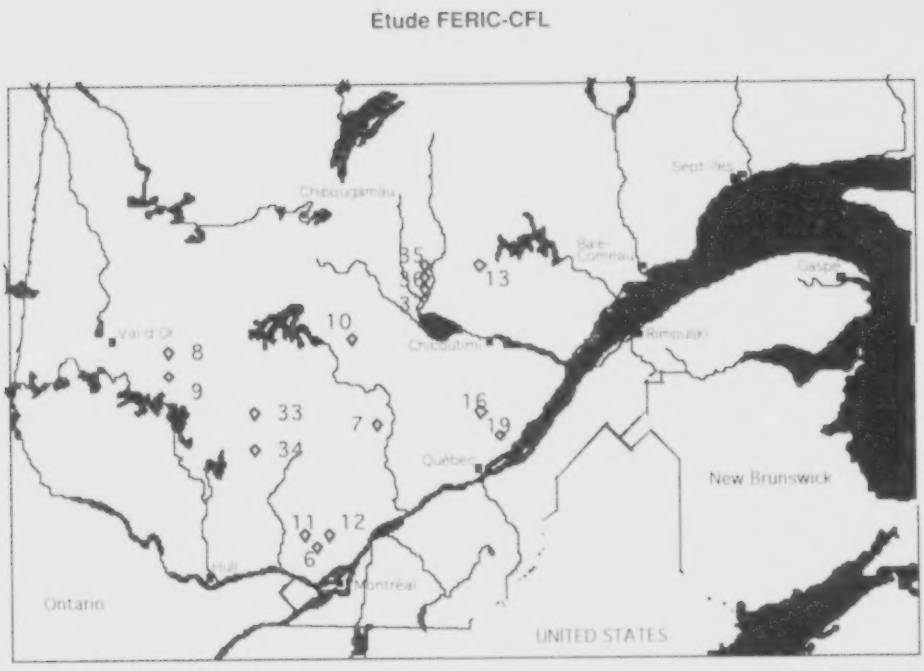
L'étude porte sur des sapinières croissant dans des domaines climaciques et des conditions de sols variés (Tableau 2). L'aire 6 supportait à l'origine un peuplement irrégulier sapin-épinette rouge, dont la surface terrière de l'épinette atteignait environ 45 %. Bien que la qualité de station n'ait pas été évaluée à l'origine, elle fut jugée très productive pour les espèces répertoriées. Sur l'aire 11 poussait une sapinière relativement pure, dont la surface terrière d'épinette rouge occupait 29 %. La station était reconnue comme moyenne pour sa fertilité (Webber *et al.* 1969). L'aire 12 était constituée d'une sapinière relativement pure à l'origine et reconnue comme une station de qualité moyenne. L'aire 35 était dominée par le sapin avant la coupe. L'aire comportait un nombre réduit de tiges de fortes dimensions. La station était classée comme riche (Weetman *et al.* 1973).

1.1.3 Peuplements de pin gris

Les trois peuplements de pin gris comportaient une composante en épinette. Ils se retrouvaient sur des stations à bien à modérément bien drainées situées au sud du domaine de la pessière à épinette noire. La surface terrière de l'aire 8 se comparait aux valeurs des tables de Plonski (1960) pour les qualités de station I et II à maturité. La surface terrière du peuplement de l'aire 33 dépassait légèrement les valeurs de Plonski (1960) à maturité.

1.1.4 Peuplements mélangés

Les peuplements mélangés montraient une composition variée. Le pin gris comptait pour 55 % de la surface terrière de l'aire 9. Le peuplement originel de l'aire 19 regroupait majoritairement du sapin et du bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh.). Le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton) était aussi représenté. Cette station était l'une des plus méridionales de l'étude. Le peuplement de l'aire 36 était constitué, à l'origine, de sapin baumier, de bouleau blanc et d'épinette noire en proportions à peu près égales et d'un peu de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx); (7 % de la surface terrière). Sur l'aire 37 l'épinette noire dominait en présence du sapin et du bouleau blanc. Les stations étaient productives et le drainage latéral était présent dans tous les cas.



Tiré de RUEL *et al.* (1998)

Figure 1. Localisation des aires de coupe à l'étude.

Tableau 1. Procédés de récolte utilisés

Aire	Procédés de récolte
10	abatteuse multi-fonctionnelle Beloit
13	débusqueuse, arbres en longueur
16	débusqueuse, arbres en longueur
34	débusqueuse, arbres en longueur
6	débusqueuse, arbres entiers
11	débusqueuse, arbres en longueur
12	traîneaux et chevaux, bois court (1,2 m)
35	débusqueuse, arbres en longueur
7	débusqueuse, arbres en longueur
8	transporteur, bois court (2,4 m)
33	débusqueuse, arbres en longueur
9	chevaux, billes de 4,9 m
19	débusqueuse, arbres en longueur
36	débusqueuse, arbres en longueur
37	débusqueuse, arbres en longueur

Tiré de RUEL *et al.* (1998)

Tableau 2. Caractéristiques écologiques des peuplements étudiés

Aire	Type de peuplement[1]	Domaine écoclimatique[2]	Classe de fertilité[3]	Drainage	Texture du dépôt
10	Épinette noire	Pessière noire à mousses	IV	mauvais	organique
13	Épinette noire	Sapinière à bouleau blanc	II	modéré	LLI
16	Épinette noire	Sapinière à épinette noire	II	imparfait	SL
34	Épinette noire	Sapinière à bouleau blanc	IV	imparfait-mauvais	LS
6	Sapin	Érablière à bouleau jaune		bon à mauvais avec drainage latéral	SL (mince)
11	Sapin	Bétulaie jaune à sapin		modéré à mauvais avec drainage latéral	SL
12	Sapin	Bétulaie jaune à sapin		modéré à imparfait	SL moyennement épais
35	Sapin	Sapinière à bouleau blanc	I	modéré	SL
7	Pin gris	Bétulaie jaune à sapin		modéré	SL (mince)
8	Pin gris	Sapinière à bouleau blanc		modéré avec drainage latéral	SL
33	Pin gris	Sapinière à bouleau blanc	III	bon	SG
9	mélangé	Bétulaie jaune à sapin		modéré avec drainage latéral	LS
19	mélangé	Érablière à bouleau jaune	I	modéré avec drainage latéral	LS
36	mélangé	Sapinière à bouleau blanc	I	bon à imparfait avec drainage latéral	SL
37	mélangé	Sapinière à bouleau blanc	II	modéré avec drainage latéral	SL

Tiré de RUEL et al. (1998)

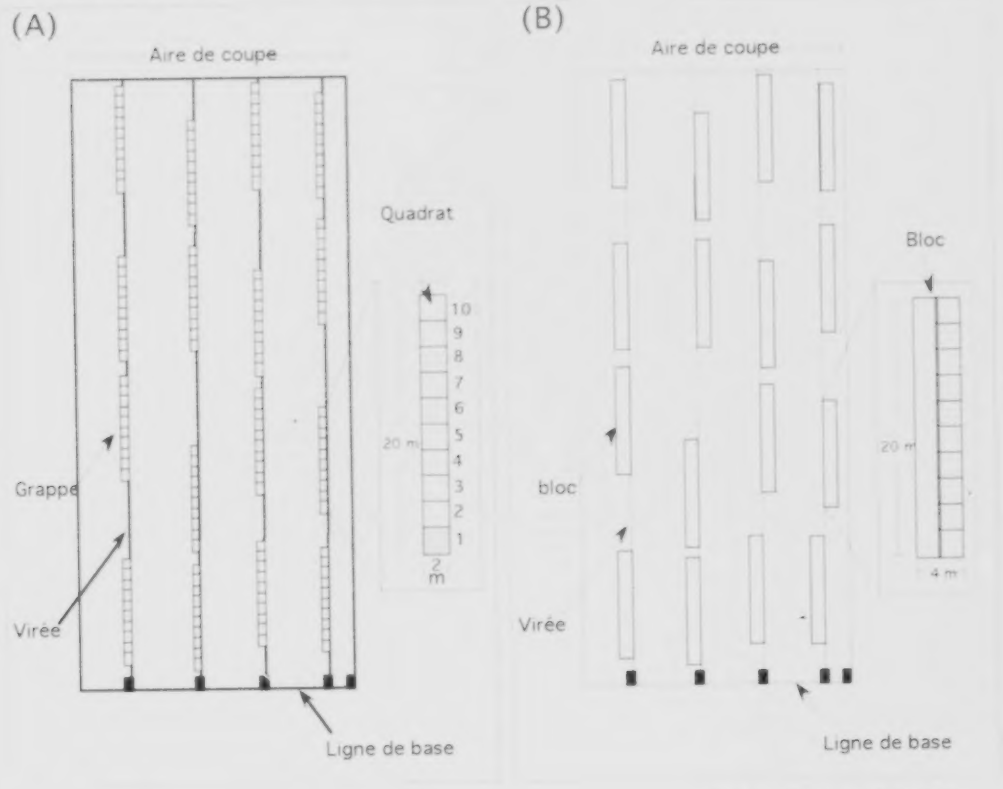
[1] tiré de FRISQUE et al. (1978)
[2] selon THIBAULT et HOTTE (1985)
[3] tiré de WEETMAN et al. (1973) et WEBBER et al. (1969)

Légende : LLI : loam limoneux LS : loam sableux
SL : sable loameux SG : sable grossier

1.2 Échantillonnage de la végétation

Chacune des aires de coupe comprend un certain nombre de parcelles (entre 12 et 32) d'une superficie de 80 ou 400 m^2 dans lesquelles l'inventaire des arbres sur pied a été réalisé avant la coupe. L'inventaire de la régénération s'est fait selon la méthode d'inventaire par grappes de 40 m^2, chacune constituée de dix quadrats de 4 m^2 (Figure 2). Dans ces grappes installées de façon permanente, la régénération a été étudiée immédiatement après la coupe et ensuite cinq, dix et vingt ans depuis la coupe. Les différentes espèces présentes ont été répertoriées selon la classe de hauteur et le diamètre dans chaque quadrat et leur dénombrement s'est effectué dans le premier quadrat seulement. Pour le relevé de vingt ans après la coupe, le dénombrement s'est fait dans les cinq premiers quadrats de chacune des grappes; concurremment aux mesures de la hauteur des tiges et du dhp de celles de plus de 1,3 m de hauteur. Le coefficient de distribution et la densité permettront d'établir un diagnostic de la qualité de la régénération. En outre, lors du remesurage de dix ans, la technique du meilleur sujet a été utilisée. Il s'agit d'évaluer, dans chaque quadrat, la tige la plus susceptible de survivre et d'atteindre le seuil de maturité (Frisque *et al.* 1978). Cette variable fait intervenir à la fois la hauteur du semis et celle des autres essences (y compris celle de la compétition).

Pour l'inventaire de 30 ans, le plan d'échantillonnage a été modifié. Les aires ont été subdivisées en deux peuplements lorsque des différences de conditions édaphiques ou de composition de la régénération le justifiaient. Pour les peuplements constitués en majorité d'épinette noire, de deux à quatre placettes de 40 m^2 ont été établies pour lesquelles les tiges de moins de 1,5 m de hauteur furent dénombrées. Le dénombrement des tiges de hauteur supérieure à 1,5 m s'est fait dans un cercle concentrique de 400 m^2. Sur les autres aires de coupe, l'inventaire des tiges non marchandes a été confiné à des parcelles de 40 m^2 alors que celui des tiges marchandes s'est effectué dans quatre parcelles de 100 m^2 pour chacun des peuplements. Il faut souligner que cet inventaire ne permet pas le calcul du coefficient de distribution. Bien qu'elles ne soient pas présentées ici, des analyses de tiges (10-16 arbres par placette provenant des différents étages du peuplement) ont aussi été effectuées et ont servi à l'estimation des volumes à 30 ans ainsi qu'à la validation des classes de la qualité de station estimées au début du projet.



Tiré de Ruel *et al.* (1998)

Figure 2. Disposition des grappes (A) et des blocs (B) pour l'échantillonnage des aires de coupe jusqu'à 20 ans.

1.3 Dynamique de l'épinette noire et du sapin baumier

La comparaison de la dynamique de l'épinette noire et du sapin baumier couvre un horizon de 30 ans. Les données obtenues fourniront l'information pertinente relative à l'évolution de la croissance en hauteur des deux espèces lorsqu'elles se retrouvent au stade de régénération sur une même aire de coupe. Dans cette optique, seules les aires regroupant ces deux essences en quantité suffisante ont été retenues. Parmi les quinze aires de coupe sélectionnées pour l'étude, cinq seulement contenaient un nombre suffisant de sapins et d'épinettes qui puisse faire l'objet d'une analyse. Il s'agit de deux peuplements de pin gris (aires 7 et 9), un peuplement d'épinette noire (aire 16) et deux peuplements mélangés (aires 36 et 37). L'analyse de ces espèces a porté sur l'évaluation et la comparaison de la hauteur des tiges en fonction du temps écoulé depuis la coupe pour chacune des cinq aires retenues. Cette variable, disponible pour chaque arbre dans les données d'analyses de tiges, a été estimée selon l'analyse faite par le logiciel Windendro. La hauteur des tiges de sapin a été comparée à celle des tiges d'épinette à l'aide de moyennes de hauteur des tiges de chaque espèce présentes dans la régénération, et ce, pour chacune des années (Achim 1998).

L'évolution de la croissance de ces deux résineux a aussi été étudiée à l'échelle de placettes de 400 m^2. Cette nouvelle aire d'échantillonnage plus réduite s'attardait plus particulièrement aux endroits où croissaient ces deux essences. Elle permettait, par le fait même, d'améliorer les chances de retrouver des conditions de croissance similaires. Ce niveau d'analyse fait donc ressortir les données de croissance pour les individus des deux espèces qui croissent à proximité les uns des autres. L'écart de croissance attribuable à la variabilité des conditions de sites est alors réduit, ce qui permet des analyses d'une plus grande précision.

1.4 Analyses statistiques

Afin de remplir l'un de nos objectifs, soit de connaître la relation entre l'abondance de la régénération et les productions à maturité, un test de corrélation a été effectué entre quelques caractéristiques de la régénération à 10 ans et la production à 30 ans des peuplements d'épinette et de sapin. Les caractéristiques de la régénération retenues étaient le coefficient de distribution et la densité des principales essences. En outre, la répétition de ce test pour le coefficient de distribution du meilleur sujet de dix ans permettra de vérifier la relation entre la taille et la structure de la régénération et sa productivité à 30 ans. Il est important de signaler que les essences résineuses constituent les principales essences pour les peuplements d'épinette noire, de sapin et de pin gris, alors que pour les peuplements mélangés, les essences commerciales des feuillus ont été prises en compte.

Chapitre deux

Résultats

2.1 Évolution de la dynamique de la régénération après coupe

2.1.1 Évolution du coefficient de distribution et de la densité après coupe

2.1.1.1 Peuplements d'épinette noire

L'évolution de la régénération a été étudiée sur une période de 30 ans suivant la coupe à blanc. La régénération préétablie de l'épinette était abondante sur l'ensemble des sites. Son coefficient de distribution dépassait 75 % (Figure 3). La forte proportion de son nombre de tiges (plus de 79 %) en faisait l'essence principale. Toutefois de cet ensemble, l'aire 16 constituait l'exception car la densité du sapin, près de 60 000 tiges/ha, y était aussi abondante (Figure 4).

À la suite de la coupe, le coefficient de distribution de l'épinette noire s'est abaissé d'au moins 40 % sur toutes les aires à l'exception de l'aire 16 où la baisse était moins prononcée. Ailleurs, sauf pour l'aire 16, le coefficient de distribution s'est abaissé sous le niveau de 60 %. Sur l'aire 16, la forte densité initiale des résineux a permis le maintien d'un nombre important de semis après la perturbation, soit près de 32 000 à l'hectare. L'augmentation substantielle du coefficient de distribution de l'épinette s'est poursuivie au cours des cinq ou dix années suivantes pour ensuite conserver un rythme plus lent. À la vingtième année, le coefficient de distribution de l'épinette noire était revenu sensiblement au même niveau que celui d'avant la coupe. Les feuillus de lumière (essences commerciales et le cerisier de Pennsylvanie) ont été nettement avantagés par la destruction du couvert. En effet, ces essences ont rapidement envahi l'ensemble des parterres, notamment sur l'aire 13 dont le coefficient de distribution est passé de 0 à 83 % au cours des cinq premières années. Ce phénomène n'a toutefois pas persisté puisqu'on a observé une diminution de la représentation des feuillus au cours des années subséquentes.

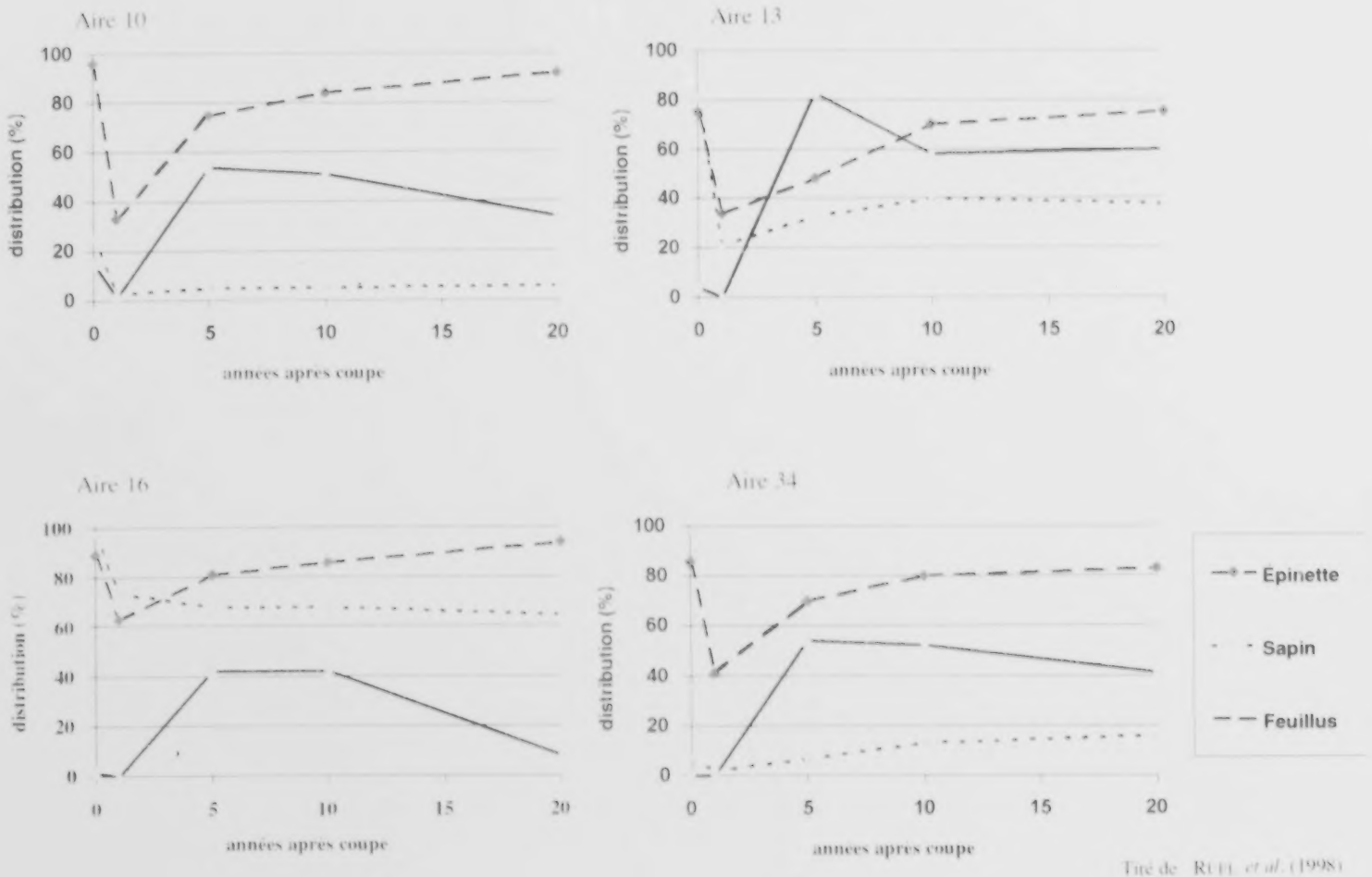
À la trentième année, la composition des peuplements se rapproche de celle des peuplements d'origine (Ruel et al. 1998). L'épinette noire domine largement l'ensemble des peuplements où elle représente en moyenne 85 % des tiges résineuses. Pour ce qui est du sapin, il n'a pas réussi à maintenir sa représentation dans les peuplements puisqu'il se retrouve en quantité importante uniquement sur l'aire 16.

2.1.1.2 Peuplements de sapin

La régénération préétablie du sapin était très abondante. Son coefficient de distribution atteignait au moins 98 % dans tous les peuplements (Figure 5). La densité maximale se retrouvait sur l'aire 6 où l'on dénombrait près de 290 000 tiges/ha (Figure 6). Le sapin représentait avant coupe l'essence principale. Il comptait pour au moins 82 % du nombre de tiges pré-établies. Pour ce qui est de l'épinette, son coefficient de distribution présentait une valeur élevée seulement sur l'aire 6 où l'on retrouvait une forte proportion d'épinette rouge d'origine.

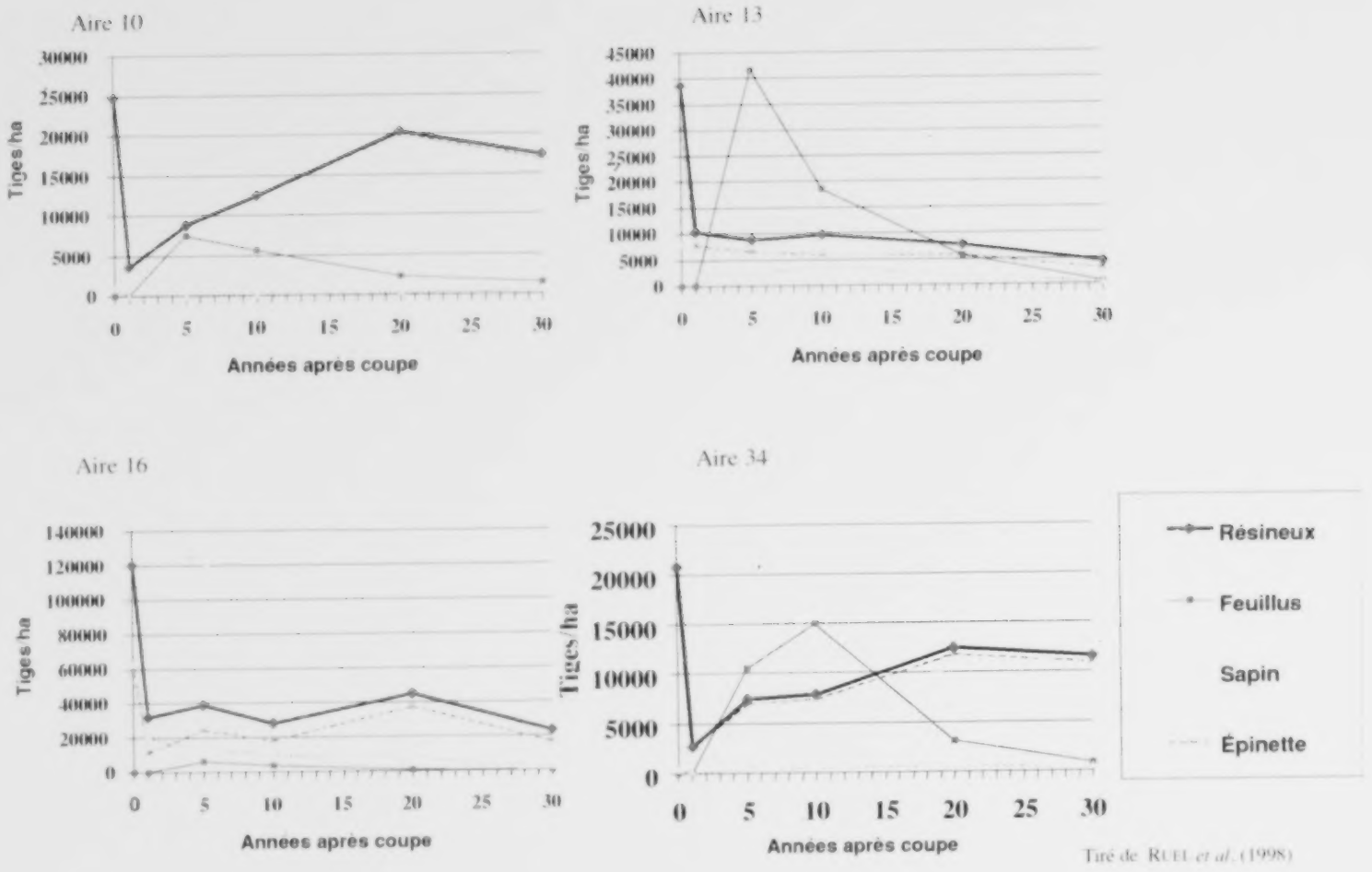
La récolte a occasionné une destruction considérable de la régénération du sapin baumier. Les parterres 6, 12 et 35 ont subi une baisse de 20 % de leur coefficient de distribution alors que celle-ci atteignait plus de 35 % sur l'aire 11. Néanmoins, dans tous les cas, le coefficient de distribution de cette essence n'a pas chuté sous la barre du 60 % à la suite de la coupe. Au cours des cinq à dix premières années après la coupe, le coefficient de distribution des résineux n'a augmenté que très légèrement, ce qui diffère quelque peu des pessières où l'on a assisté à une remontée notable de cette variable. Durant cette période, le coefficient de distribution de l'épinette est demeuré faible alors qu'à dix ans, il n'a dépassé 20 % que sur l'aire 6. On a assisté à une explosion des feuillus de lumière (essences commerciales et cerisier de Pennsylvanie) au cours des cinq premières années successives à la coupe. À cinq ans, leur densité était supérieure à celle des résineux sur toutes les aires de coupe. De même, sur l'aire 6, leur coefficient de distribution était plus élevé que le sapin. À la fin de la dixième année, en dépit d'une chute importante de la densité des feuillus, seuls les résineux de l'aire 35 affichaient un plus grand nombre de tiges à l'hectare.

À 30 ans, l'importance des feuillus varie fortement d'un peuplement à l'autre. Ils demeurent plus abondants que les résineux sur deux aires de coupe et affichent une densité supérieure à 5 000 tiges/ha dans trois des peuplements. L'épinette est quasi absente dans deux peuplements. Par contre, le sapin est relativement abondant sur toutes les aires, notamment sur l'aire 11, où sa densité dépasse 30 000 tiges/ha. À 30 ans, ce dernier comptait pour au moins 89 % des tiges résineuses sur trois parterres de coupe.



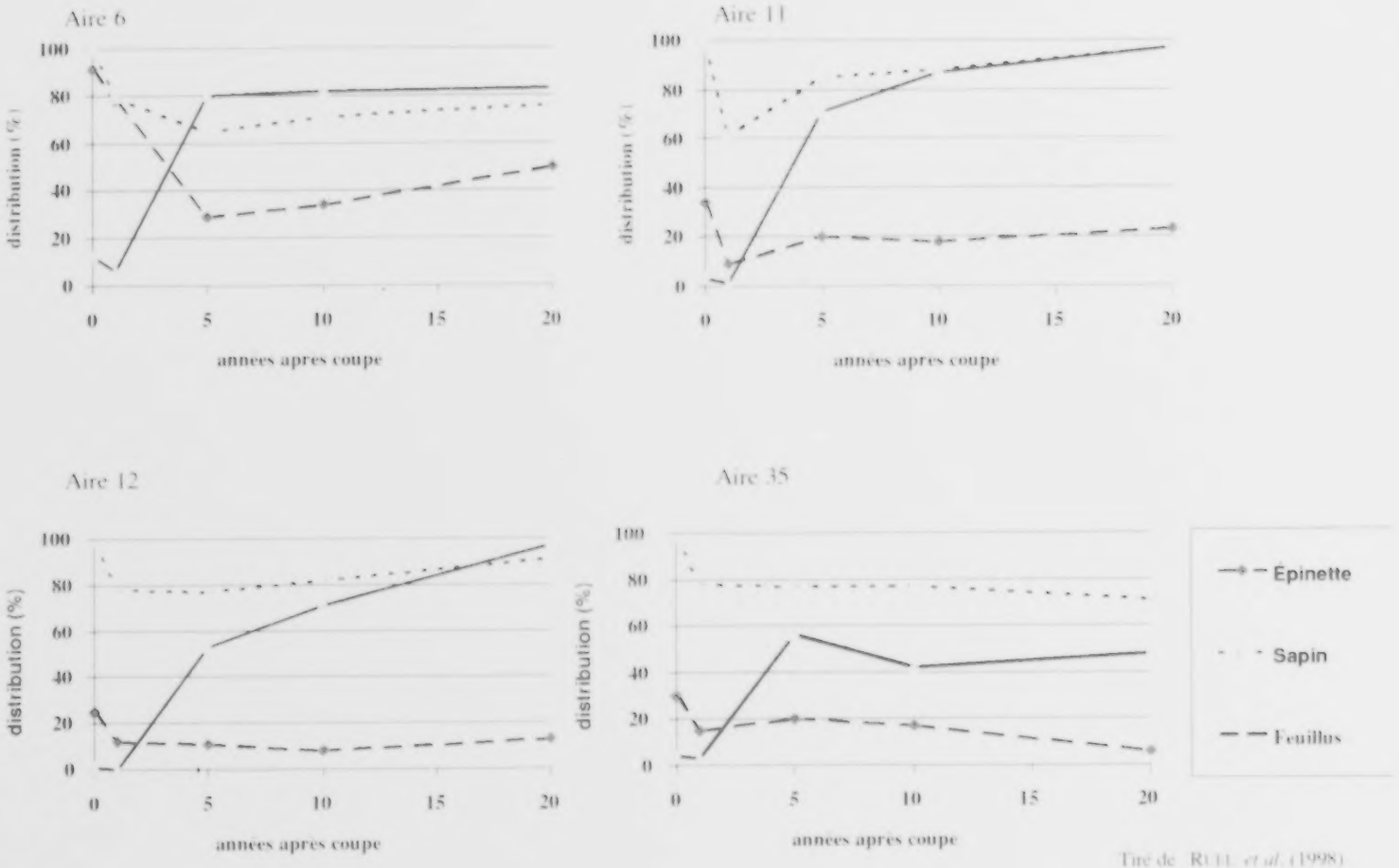
Tiré de RUEL *et al.* (1998)

Figure 3. Évolution du coefficient de distribution sur les aires d'épinette noire



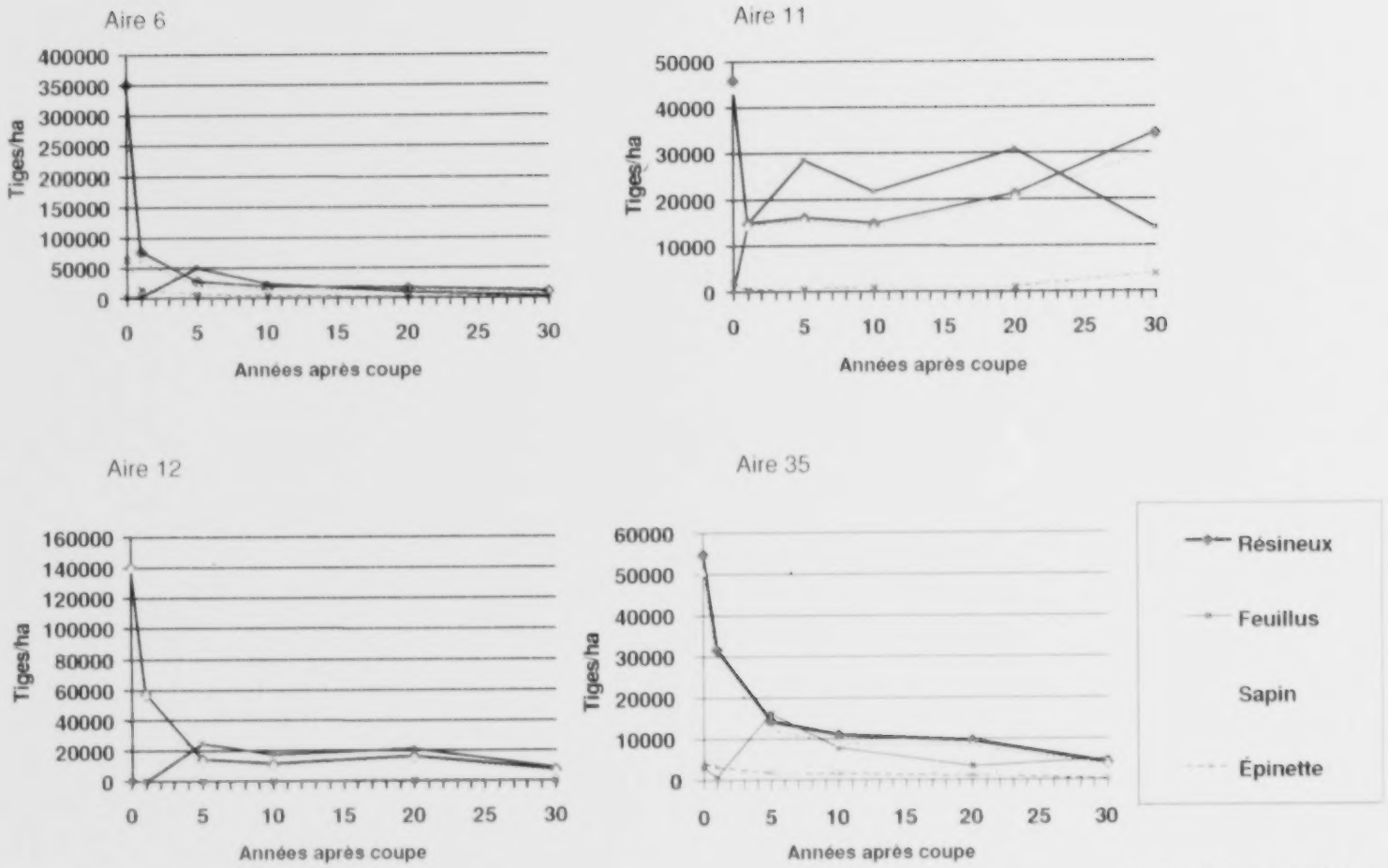
Tiré de RUEL *et al.* (1998)

Figure 4. Évolution de la densité sur les aires d'épinette noire.



Tiré de RUEL *et al.* (1998)

Figure 5. Évolution du coefficient de distribution sur les aires de sapin.



Tiré de RUEL *et al.* (1998)

Figure 6. Évolution de la densité sur les aires de sapin.

2.1.1.3 Peuplements de pin gris

La régénération préétablie résineuse s'est avérée nettement inférieure dans les peuplements de pin gris par rapport à celle des pessières ou sapinières (Figures 7 et 8). Elle était relativement peu abondante sur les aires 7 et 8 où elle atteignait moins de 11 200 tiges/ha. Sur l'aire 33, elle était importante mais n'était constituée pratiquement que d'épinettes. Le pin gris était absent avant la coupe sur l'ensemble des sites.

La récolte a engendré une baisse notable du coefficient de distribution de résineux laquelle atteignait 51 % sur l'aire 33. Dans chacun des cas, ni le sapin, ni l'épinette n'ont affiché un coefficient de distribution supérieur à 40 % à la suite de la coupe. Les cinq à dix années qui ont suivi la coupe ont permis à la régénération résineuse de s'implanter de façon notable. Cette implantation était particulièrement apparente dans le cas de la densité du pin gris de l'aire 33. Les coefficients de distribution des résineux ont varié de 52 à 64 % au cours des cinq années qui ont suivi la coupe. Pour sa part, le sapin s'est avéré peu abondant à la dixième année depuis la coupe et n'affichait qu'un maximum de 1 600 tiges/ha sur l'aire 7. Sur les aires 7 et 8, les feuillus commerciaux et non commerciaux avaient envahi les parterres de coupe au cours des cinq premières années et leur densité surpassait celle des résineux. Par la suite, leur évolution a varié selon les aires de coupe. Sur l'aire 33, les feuillus commerciaux n'ont jamais occupé une place importante. Sur l'aire 7, leur coefficient de distribution à 20 ans s'est maintenu aux environs de 70 % tandis que sur l'aire 8, il a diminué dès la cinquième année pour se stabiliser à 35 % la vingtième année.

La densité des résineux à 30 ans est supérieure à celle des feuillus dans tous les peuplements. L'épinette noire domine en nombre, suivie du pin gris qui est relativement abondant sur deux aires de coupe. Quant à la régénération du sapin, elle ne se retrouve en quantité notable que sur l'aire 7.

2.1.1.4 Peuplements mélangés

Ces peuplements supportaient avant coupe une régénération résineuse abondante sur la majorité des aires de coupe (Figures 9 et 10). Pour trois d'entre eux, le coefficient de distribution de la régénération résineuse dépassait 90 %. Cette régénération se composait en majorité de sapin, l'épinette ne constituait pas plus de 1 % du nombre de tiges sur trois des quatre aires de coupe.

À la suite de la coupe, le coefficient de distribution des résineux a subi une diminution importante sur toutes les aires et s'est abaissé, à l'exception de l'aire 37, en dessous du seuil de 60 %. Au cours des années suivantes, les feuillus ont envahi le site de sorte qu'à la cinquième année, ils dominaient les résineux tant au niveau de la densité que du coefficient de distribution sur trois des aires de coupe. Sur l'aire 19, l'érable à épis et le cerisier de Pennsylvanie étaient abondants dès la dixième année après la coupe. Leurs densités atteignaient 18 300 et 13 800 tiges/ha et leurs coefficients de distribution étaient de l'ordre de 82 et 52 % respectivement (Frisque *et al.* 1978). Le pin gris était absent des aires à l'exception de l'aire 9. Là, il atteignait une faible densité de 620 tiges/ha dix ans après la coupe. À la dixième année, le coefficient de distribution des résineux demeurait relativement stable et atteignait, à la vingtième année, plus de 67 % pour toutes les aires de coupe. L'abondance des feuillus, tant commerciaux que non commerciaux s'est maintenue sur le site pendant les vingt années qui ont suivi la coupe.

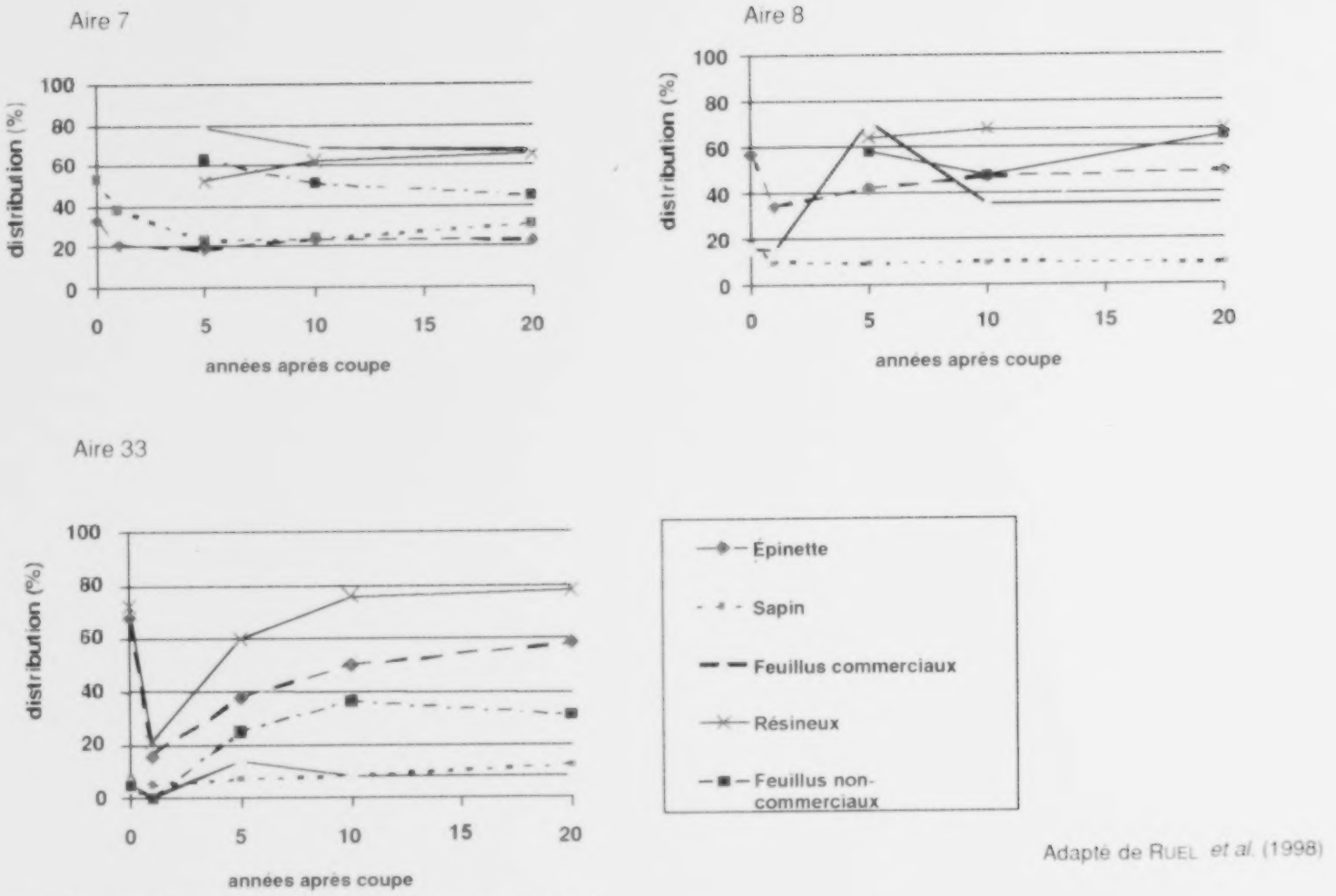
À la trentième année, l'abondance des feuillus a chuté fortement et les espèces non commerciales affichaient une densité inférieure aux résineux sur l'ensemble des aires. Le sapin composait à ce moment-là, la majeure partie de la régénération résineuse. Sur trois aires de coupe, il comptait pour près de 80 % du nombre de tiges.

2.1.2 Évolution de la hauteur et de la croissance en hauteur de l'épinette noire et du sapin baumier

La figure 11 montre l'évolution de la hauteur des tiges de sapin et d'épinette subséquente à la coupe sur les cinq aires de coupe qui présentaient un nombre adéquat de sapins et d'épinettes noires. La première année correspond à celle où la coupe a été effectuée. Deux situations distinctes sont observées. Sur les aires 7, 16 et 36, la hauteur moyenne des tiges de sapin demeure supérieure à celle de l'épinette tout au long de l'horizon de 30 ans. L'écart de hauteur entre ces deux espèces s'accentue en faveur du sapin dès les premières années depuis la coupe. Sur l'aire 7, il atteint son maximum une vingtaine d'années après la perturbation alors que sur les aires 16 et 36, ce maximum survient plus tôt soit vers la huitième ou neuvième année après la coupe. Par la suite, cet écart s'atténue mais sans permettre à l'épinette noire de surpasser le sapin en hauteur à la fin de la période d'observations.

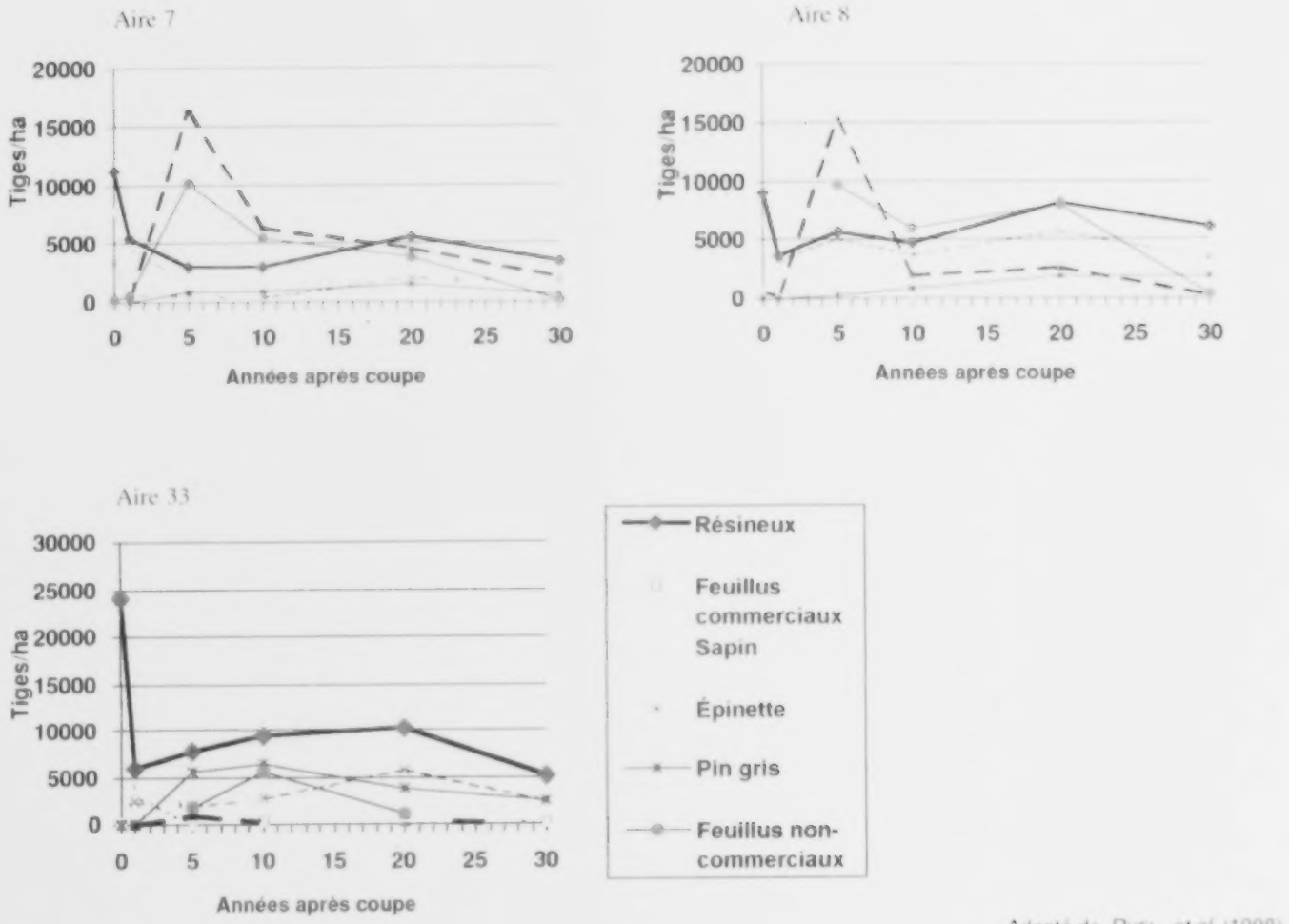
La situation est toutefois différente sur les aires 9 et 37 où le patron de croissance pour ces deux essences est relativement similaire (Figure 11). À la fin de l'horizon, ces deux essences présentaient sensiblement les mêmes hauteurs. Il faut noter pour l'aire 37 qu'on observe une baisse de la hauteur moyenne des tiges d'épinettes dès les premières années suivant la coupe. Ce phénomène est en fait attribuable à l'établissement d'une quantité abondante de semis durant cette même période ce qui a comme conséquence d'abaisser la moyenne de la hauteur (Achim 1998).

L'analyse de la hauteur moyenne des placettes où les deux espèces étaient présentes, démontre une situation fort différente de celle qui prévalait sur les aires de coupe. En effet, on remarque des hauteurs nettement plus élevées pour l'épinette noire que pour le sapin à la fin de la période d'observations dans les placettes 9c, 16a, 36b, 36d (Figure 12). Bien qu'elle fût d'une taille plus faible, la taille de l'épinette a surpassé celle du sapin douze à quinze ans après la coupe. Dans les placettes 37a, 37b et 37c, ces deux essences atteignaient des hauteurs similaires à la fin de l'horizon.



Adapté de RUEL *et al.* (1998)

Figure 7. Evolution du coefficient de distribution sur les aires de pin gris.



Adapté de RUEL *et al.* (1998)

Figure 8. Évolution de la densité sur les aires de pin gris.

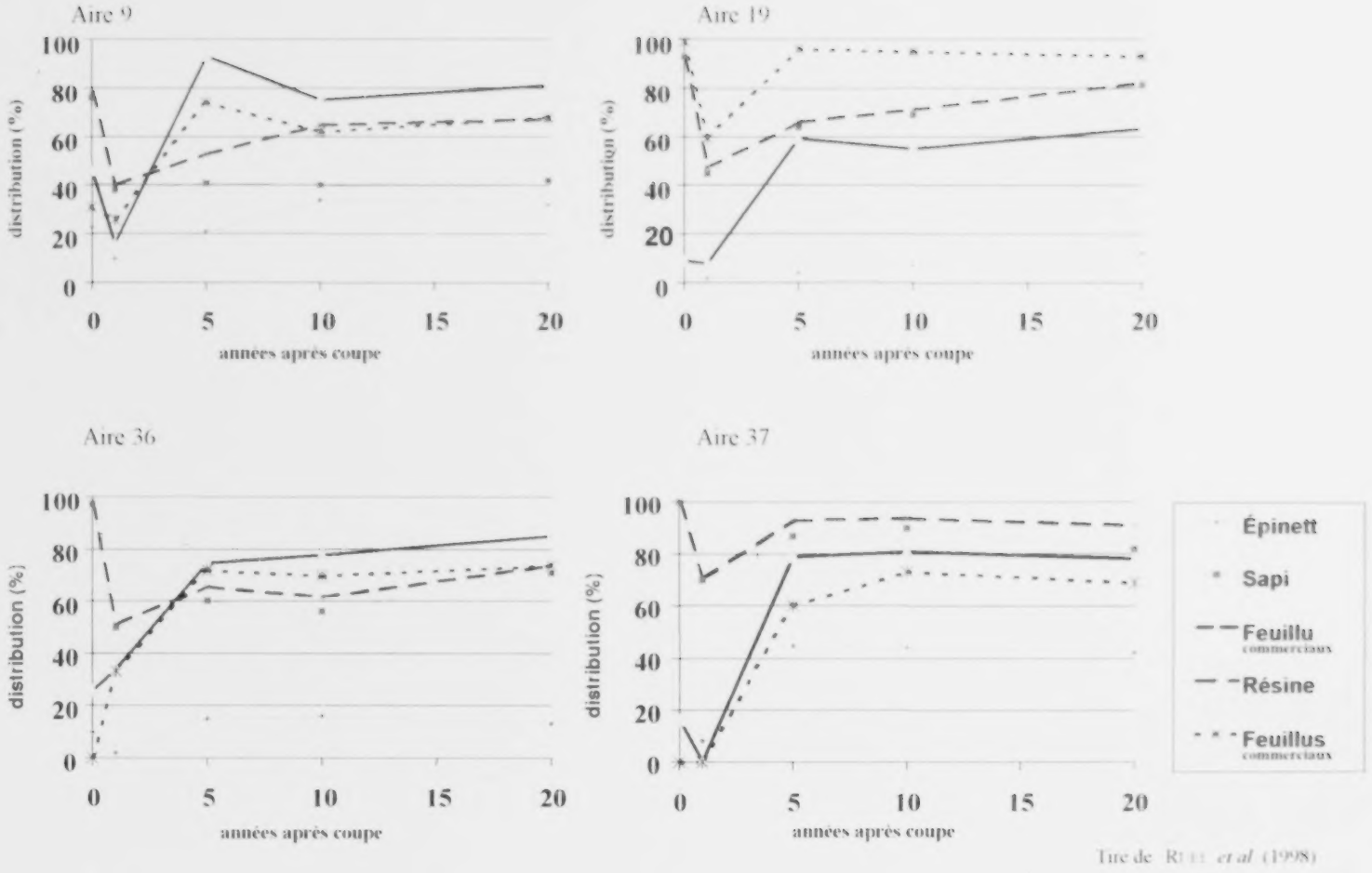
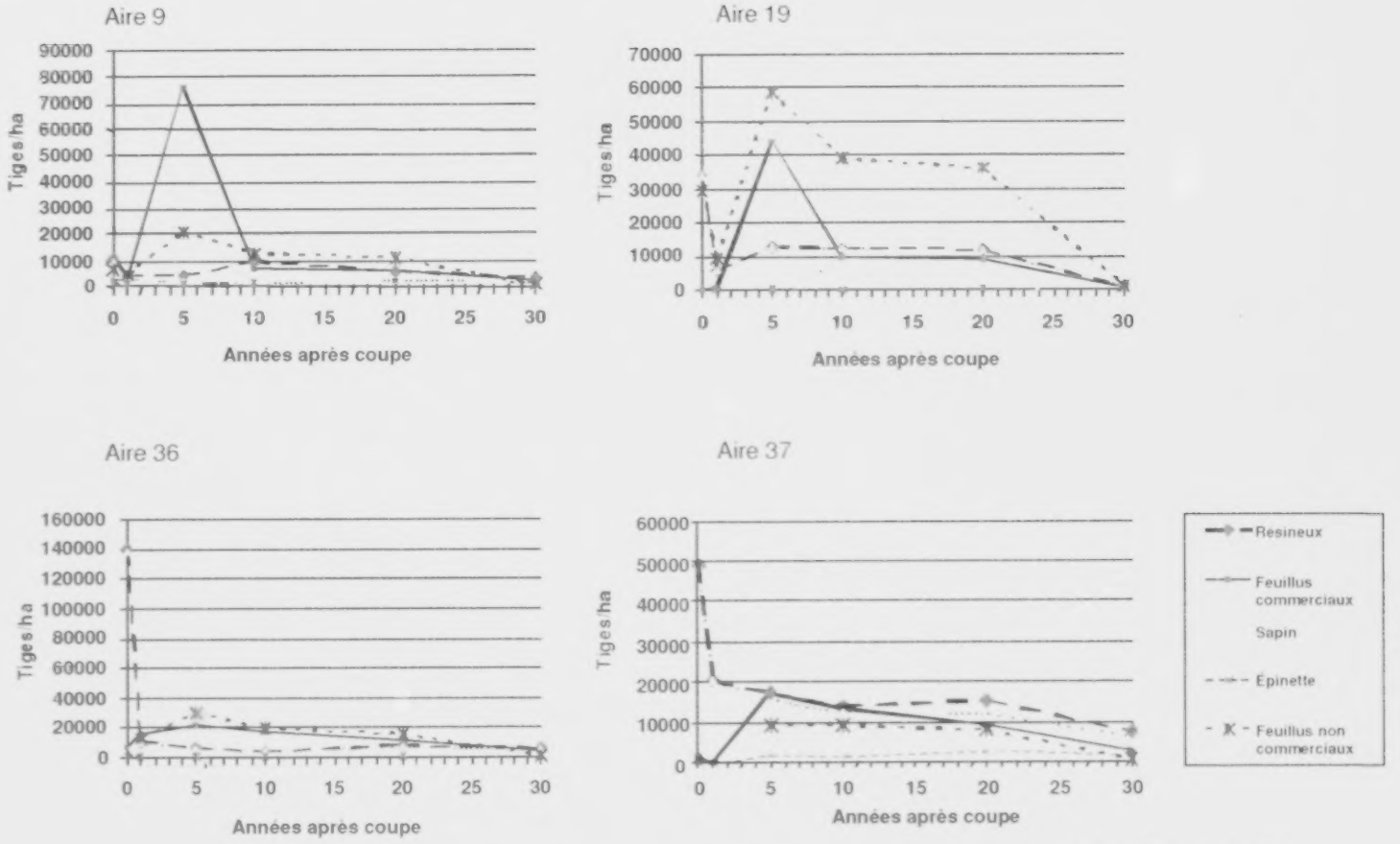
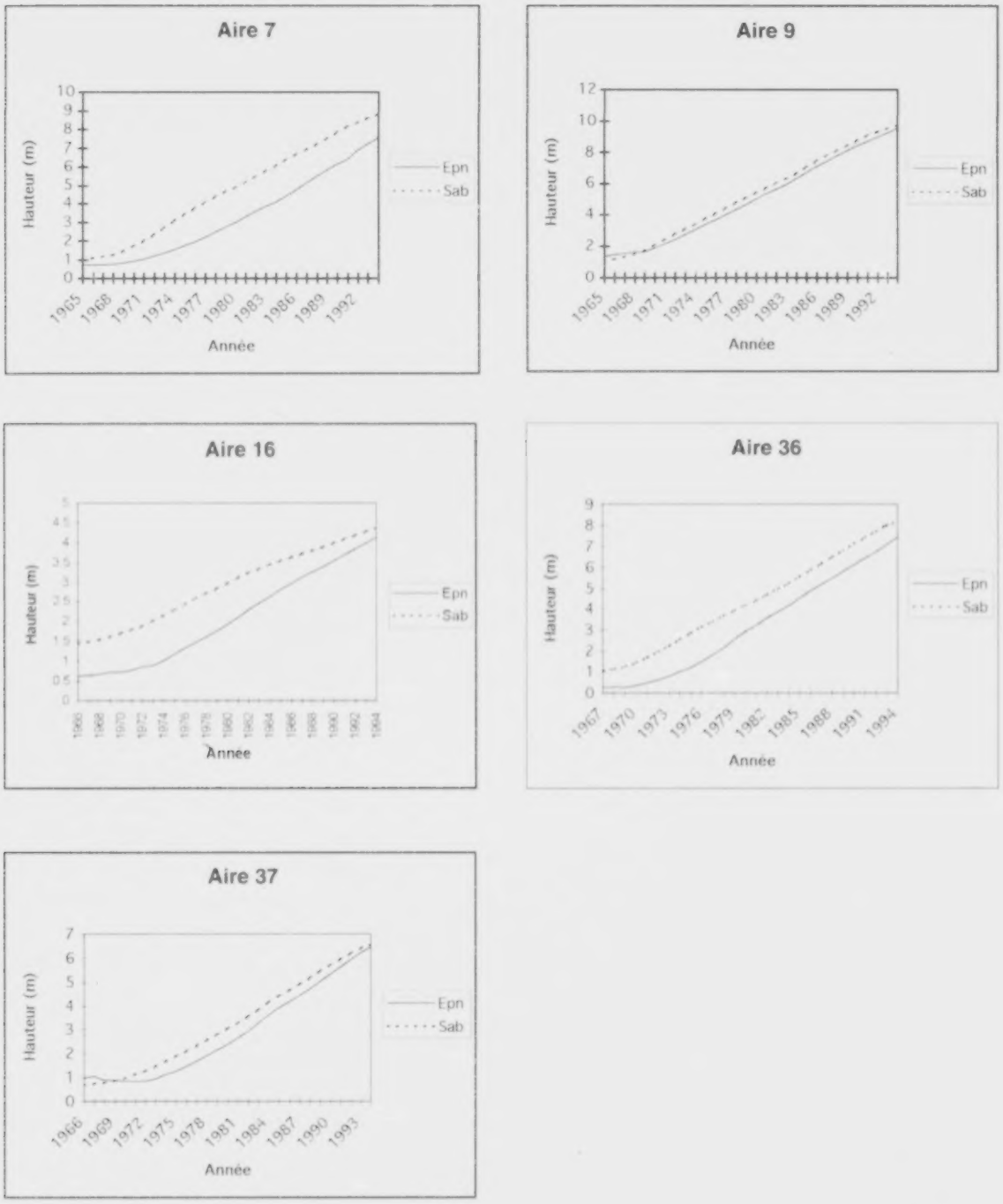


Figure 9. Évolution du coefficient de distribution sur les aires mélangées.



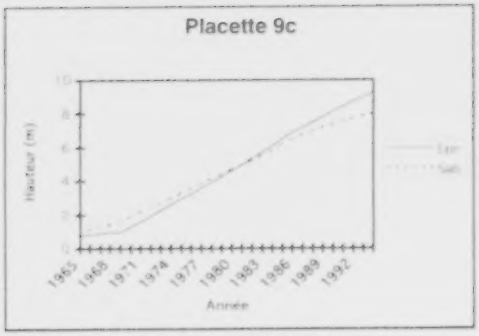
Tiré de Ruel *et al.* (1998)

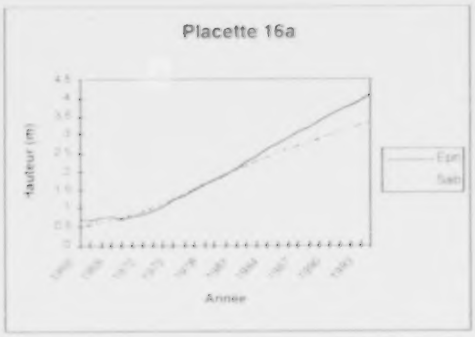
Figure 10. Évolution de la densité sur les aires mélangées.

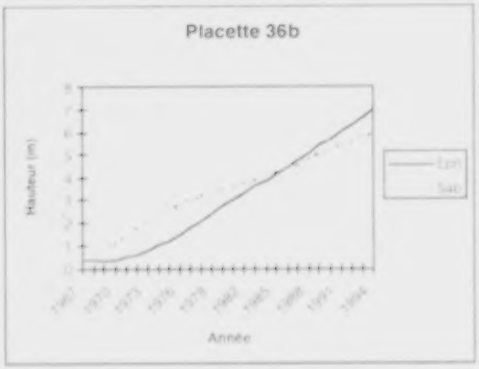


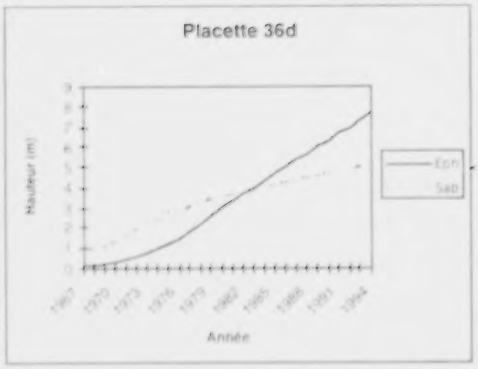
Tiré de ACHIM (1998)

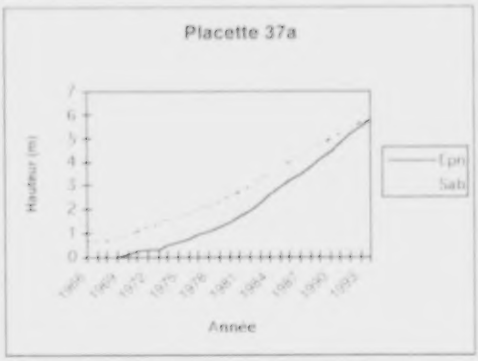
Figure 11. Évolution après coupe de la hauteur des tiges d'épinette noire et de sapin baumier sur les aires de coupe.

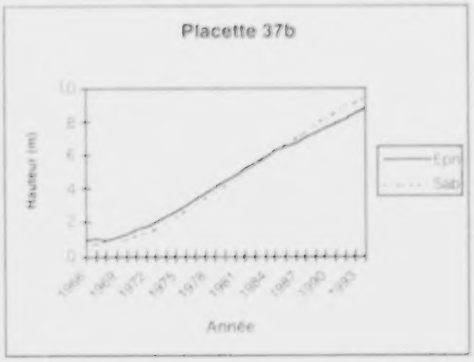


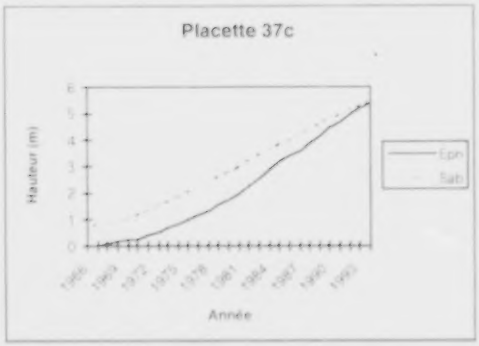












Tiré de ACHIM (1998)

Figure 12. Évolution après coupe de la hauteur des tiges d'épinette noire et de sapin baumier dans les placettes.

A l'exception de la placette 37b, le sapin ne présente pas une hauteur plus élevée que celle de l'épinette, à la fin de la trentième année, lorsque ces deux essences poussent côte à côte. De plus, dans les placettes 37a et 37c, l'épinette noire était absente de la régénération préétablie et ne pouvait alors profiter de sa taille initiale pour concurrencer le sapin en hauteur. Malgré tout, elle est parvenue, dans les deux cas, à s'élever à la même hauteur que le sapin grâce à de meilleures croissances notamment dans la seconde moitié de l'horizon.

A l'exception des placettes 16a et 37b, on voit bien la nette dominance en hauteur des tiges de sapin durant les premières années (Figure 13). Cette situation ne prévaut cependant plus 30 ans après la coupe alors que la hauteur de l'épinette noire dépasse celle du sapin, sauf dans les placettes de l'aire 37 pour lesquelles les hauteurs sont pratiquement les mêmes. Les deux graphiques de la figure 13 font ressortir qu'un examen de la hauteur de la régénération effectué seulement quelques années après la coupe aurait dressé un portrait fort différent de celui qui prévaut 30 ans après la coupe. Il existe donc probablement des différences dans l'évolution de hauteur de ces deux essences.

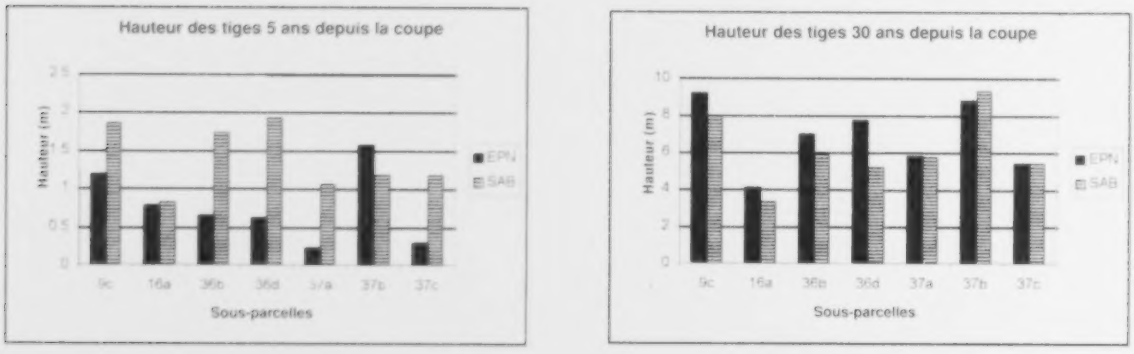
2.2 Relation entre l'abondance de la régénération et la production

2.2.1 Coefficient de distribution à 10 ans par rapport au volume à 30 ans

La figure 14 présente le volume des principales essences de chacun des peuplements à 30 ans en regard de leur coefficient de distribution respectif à 10 ans. L'analyse visuelle des nuages de points, de chacun des peuplements, ne permet pas d'établir une relation quelconque entre ces deux variables. Une augmentation du coefficient de distribution n'implique pas nécessairement une augmentation du volume. Dans chacun des peuplements, l'aire de plus fort volume n'est pas celle qui présentait le coefficient de distribution le plus élevé. Pour les sapinières et les peuplements mélangés, on observe plutôt le phénomène inverse. Le meilleur volume semble être associé à l'aire la moins bien stockée. Dans trois des quatre peuplements, l'aire qui présentait le meilleur coefficient de distribution comportait le deuxième plus fort volume. Ces résultats démontrent qu'il peut exister une variation importante du volume à 30 ans pour des coefficients de distribution très semblables à 10 ans. C'est notamment le cas des peuplements d'épinette noire des aires 13 et 34 dont l'écart de volume de résineux dépassait 45 m^3/ha pour un même coefficient de distribution des résineux.

2.2.2 Densité à 10 ans par rapport au volume à 30 ans

Comme dans la section 2.2.1, le même exercice a été repris en rapport avec la densité à dix ans des principales essences. Les résultats obtenus s'apparentent à celui du coefficient de distribution (Figure 15). En effet, pour chacun des peuplements, l'analyse des nuages de points ne démontre aucune tendance claire quant à une relation possible entre le volume à 30 ans des principales essences et leur densité à 10 ans. Dans aucun cas, le meilleur volume n'a été associé à la plus forte densité de tiges. Dans les peuplements mélangés, le volume obtenu pour l'aire de plus forte densité équivaut à près de la moitié de celui du peuplement pourvu du meilleur volume et d'un contenu moindre d'environ 6 000 tiges commerciales à l'hectare. Dans les pessières, l'aire 34 obtient un meilleur volume résineux à 30 ans que l'aire 16 qui contient 20 000 tiges résineuses de plus, à 10 ans.



Tiré de Achim (1998)

Figure 13. Comparaison de la hauteur des tiges d'épinette noire et de sapin baumier 5 et 30 ans après la coupe dans les sous-placettes.

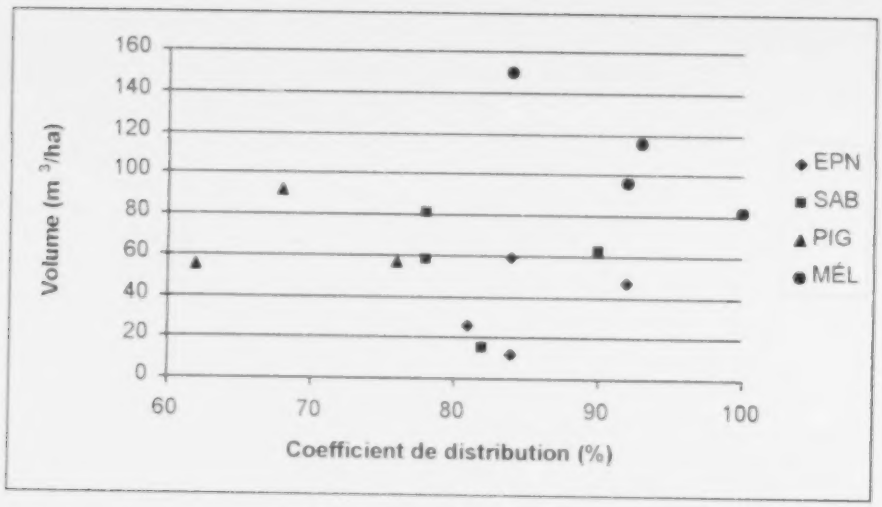


Figure 14. Volume des principales essences[1] à 30 ans en fonction de leur coefficient de distribution à 10 ans sur les aires d'épinette noire, de sapin, de pin gris et mélangées.

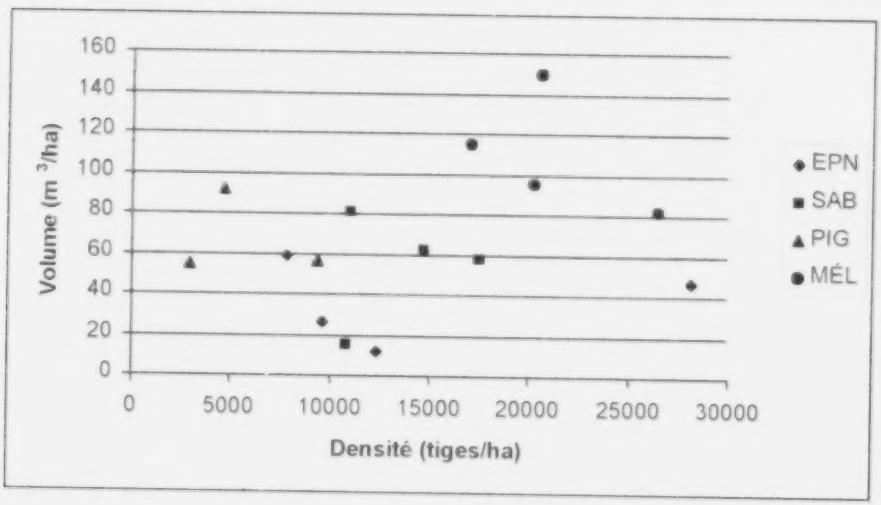


Figure 15. Volume des principales essences à 30 ans en fonction de leur densité à 10 ans sur les aires d'épinette noire, de sapin, de pin gris et mélangées.

[1] Les principales essences sont définies selon les essences résineuses pour les aires d'épinette noire, de sapin et de pin gris tandis qu'elles sont définies selon les essences résineuses et feuillues commerciales pour les peuplements mélangés.

À la lumière de ces résultats, aucune relation n'a pu être observée entre le volume à 30 ans des principales essences et l'abondance de leur régénération à 10 ans. Un test de corrélation effectué sur les données des sapinières et des pessières le confirme (Tableau 3). Pour ces peuplements, les volumes résineux à 30 ans ne sont pas en lien direct avec le coefficient de distribution de la régénération résineuse à 10 ans, ni même avec la densité des tiges résineuses à cet âge (Ruel *et al.* 1998).

2.3 Relation entre la taille et structure de la régénération et le volume

2.3.1 Nombre de tiges selon la classe de hauteur-diamètre à 10 ans par rapport au volume à 30 ans

Le nombre de tiges selon la classe de hauteur ou de diamètre à dix ans est présenté seulement pour les peuplements d'épinette noire et de sapin car ces données n'étaient pas disponibles pour les peuplements de pins gris et mélangés.

2.3.1.1 Peuplements d'épinette noire

L'aire 10, soit celle affichant le plus faible volume de résineux à 30 ans présentait une régénération résineuse de faible taille (Figure 16). En effet, près de la moitié des semis mesuraient de 0 à 15 cm de hauteur, à dix ans. Aucune tige ne mesurait plus de 1,30 m de haut. Par contre, près du quart des tiges de feuillus, principalement composées de bouleau à papier, atteignaient au moins cette taille. L'aire 13, pourvue d'un faible volume de résineux à 30 ans, soit seulement 25 m^3/ha, présentait un portrait différent. La régénération résineuse était plus haute que dans l'aire précédente puisque bon nombre de tiges affichaient une taille supérieure à 1,3 m. Pour sa part, la régénération de feuillus était abondante et de forte taille. Dans la grande majorité des classes de hauteur et de diamètre, son abondance était supérieure à celle des résineux. Sa densité atteignait même 5 000 tiges/ha dans la classe de 2,5 cm de diamètre.

Les deux peuplements qui avaient les meilleurs volumes de résineux à 30 ans présentaient un portrait différent de la taille et de la structure de leur régénération à 10 ans. L'aire 16 se composait d'une densité très forte de semis résineux dont la taille était relativement élevée. Plus de 40 % des tiges, soit environ 12 000 tiges/ha appartenaient aux classes de hauteur de 91 cm et plus. Les feuillus étaient peu abondants et de faible hauteur. Plus des trois quarts de leurs semis mesuraient en moyenne moins de 30 cm. Ces résultats contrastaient avec l'aire 34 dont le volume de résineux était le plus élevé, 59 m^3/ha mais dont la régénération résineuse était beaucoup moins abondante que l'aire précédente. Bien que la majorité de ces semis se soient retrouvés dans les classes de diamètre de 2,5 cm et moins, il est possible que la présence d'un certain nombre de tiges de forts diamètres ait contribué à l'augmentation du volume. Les feuillus étaient abondants et présentaient la plus forte densité dans la majorité des classes de hauteur. On ne retrouvait cependant pas de tiges de forts diamètres comme c'était le cas pour les résineux.

2.3.1.2 Peuplements de sapin

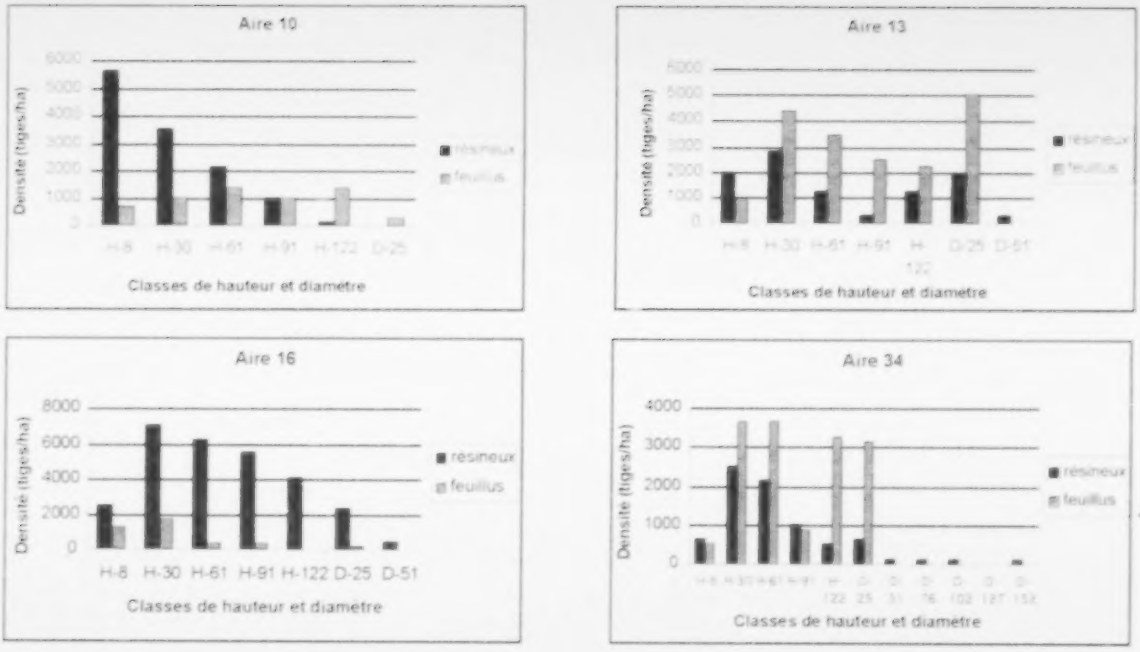
L'aire 12 dont le volume de résineux était le plus faible, soit 15 m^3/ha, supportait une régénération, en majorité de résineux, répartie dans les classes de faible hauteur. Par contre, elle se composait presque exclusivement de feuillus lorsque les tiges dépassaient en moyenne 1,22 m (Figure 17). En effet, aucune tige résineuse n'atteignait plus de 1,3 m de hauteur alors qu'aucune tige feuillue n'appartenait à la classe de hauteur de moins de 61 cm.

Les aires 6 et 11 comportaient des rendements intermédiaires et sensiblement équivalents des résineux. Dans les deux aires, la régénération de feuillus était abondante et se composait principalement de tiges dont la hauteur et le diamètre appartenaient aux classes de 1,22 m et de 2,5 cm respectivement. Pour l'aire 6, on remarque que la régénération résineuse était observée principalement dans les classes de hauteur supérieures à 61 cm, ce qui n'était pas le cas pour l'aire 11 où les semis de faible taille (classe de hauteur de 8 et 30 cm) étaient plus nombreux. Contrairement à l'aire 12, l'aire 11 contenait des tiges résineuses de plus de 1,3 m de hauteur mais en faible nombre.

Tableau 3. Coefficients de corrélation entre le volume de résineux à 30 ans et les caractéristiques de la régénération à 10 ans dans les pessières et les sapinières (n = 8; valeurs non significatives à *P* = 0,05)

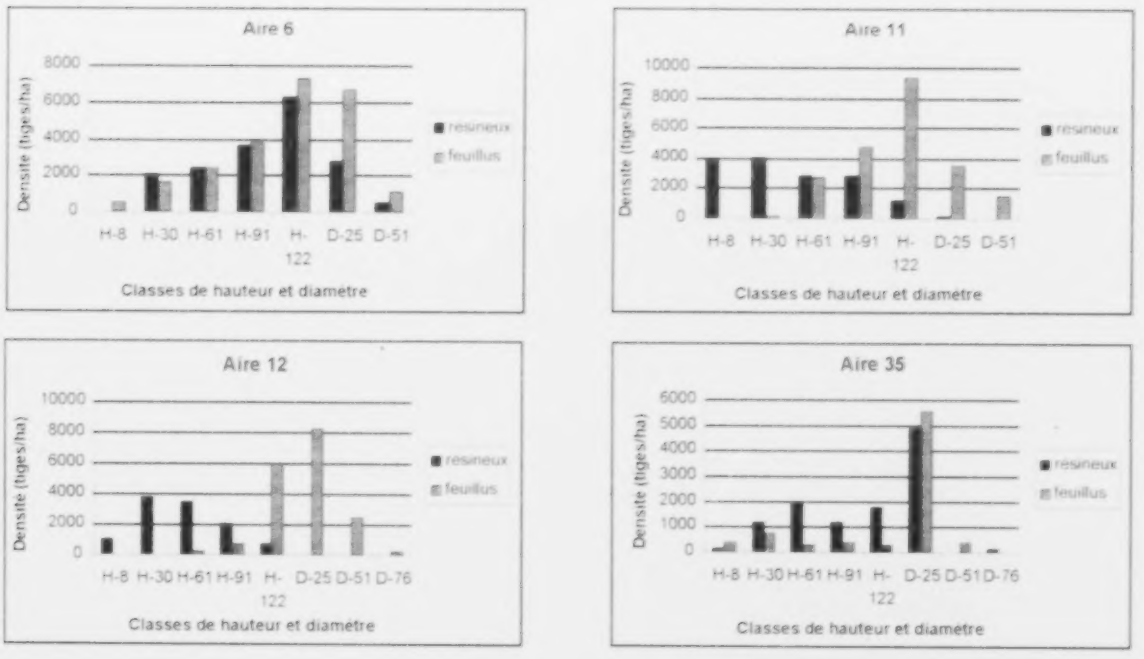
Caractéristiques de la régénération à 10 ans	*r*
coefficient de distribution (%)	0,03
densité (tiges/ha)	0,16
coefficient de distribution, résineux comme meilleur sujet (%)	0,24

Tiré de Ruel *et al.* (1998)



Adapté de OUELLET (1996)

Figure 16. Densité des tiges selon la classe de hauteur et de diamètre sur les aires d'épinette noire, 10 ans après la coupe.



Adapté de PLUSQUELLEC (1997)

Figure 17. Densité des tiges selon la classe de hauteur et de diamètre sur les aires de sapin, 10 ans après la coupe.

L'aire 35 présente le meilleur volume de résineux parmi les quatre peuplements de sapin. Elle se caractérise par une régénération résineuse dont la taille est supérieure. En effet, on dénombrait près de 5 000 tiges/ha de plus de 1,3 m de hauteur. Quelques tiges résineuses appartenaient à la classe de diamètre de 7,6 cm, ce qui a eu pour effet de hausser le volume résineux du peuplement. Quant aux feuillus, ils étaient considérablement moins nombreux que dans les autres peuplements et se retrouvaient principalement dans la classe de diamètre de 2,5 cm.

2.3.2 Coefficient de distribution du meilleur sujet à 10 ans par rapport au volume à 30 ans

La figure 18 montre la relation entre le volume des essences principales de chacun des peuplements de 30 ans et le coefficient de distribution de celles qui constituaient les meilleurs sujets à 10 ans. L'analyse des nuages de points ne permet pas d'établir une relation quelconque entre ces deux variables. Pour les sapinières, l'analyse visuelle des nuages de points sous-entend une certaine relation positive entre ces deux variables. Par contre, dans les peuplements mélangés, la relation semble inverse. En effet, le volume des essences principales de l'aire 19 est près de deux fois supérieur à celui de l'aire 37. Toutefois, la proportion de tiges des meilleurs sujets pour les essences principales est de 98 % pour cette dernière en comparaison de 39 % pour l'aire 19. Pour les autres peuplements, aucune tendance claire n'a pu être observée.

L'analyse de nuages de points ne permet donc pas, de manière générale, de confirmer la présence d'une relation entre le volume des principales essences mesuré à 30 ans et le coefficient de distribution du meilleur sujet à 10 ans. D'ailleurs, un test de corrélation effectué entre ces deux variables dans les sapinières et pessières n'a pas permis d'obtenir une relation significative (Tableau 3) (Ruel *et al.* 1998).

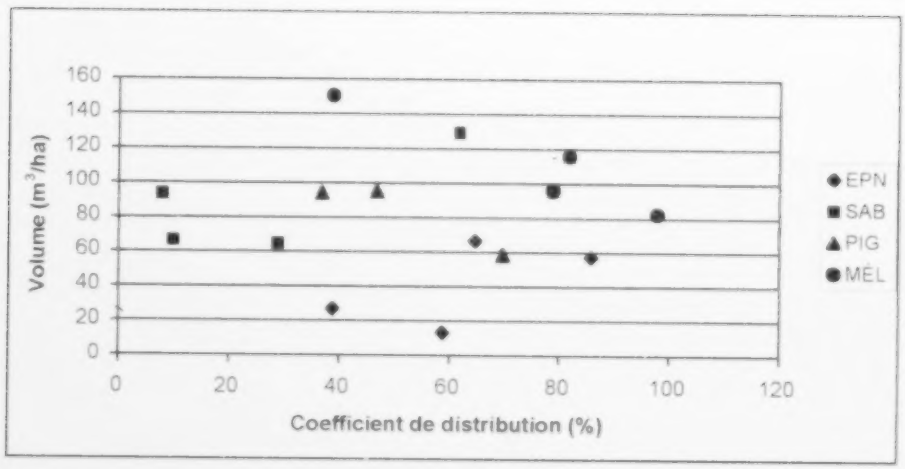


Figure 18. Volume des principales essences à 30 ans en fonction du coefficient de distribution de celles qui constituaient les meilleurs sujets à 10 ans sur les aires d'épinette noire, de sapin, de pin gris et mélangées.

Chapitre trois

Discussion

3.1 Evolution de la dynamique de la régénération depuis la coupe

3.1.1 Evolution du coefficient de distribution et de la densité depuis la coupe

3.1.1.1 Peuplements d'épinette noire

Le coefficient de distribution de la régénération préétablie s'élevait à plus de 80 % sur l'ensemble des aires. Ce niveau est semblable à ce qui a déjà été observé dans les peuplements d'épinette noire (Ruel 1989, 1992a; Pominville et Ruel 1995). Lors de la coupe, le passage de la machinerie a provoqué une chute substantielle du coefficient de distribution. Quelques auteurs ont noté qu'en l'absence de mesures de protection de la régénération, le niveau de destruction de cette dernière est représentatif de celui des opérations de récolte au Québec (Ruel 1992a, Pothier 1996). Par contre, le coefficient de distribution après coupe semble inférieur à celui observé lorsque l'objectif de la coupe visait la protection de la régénération (Ruel 1991, MacDonnell et Groot 1997). Cela sous-entend que notre étude tend à sous-estimer les volumes à maturité qui pourraient être obtenus consécutivement à des coupes avec protection de la régénération et des sols dans les peuplements d'épinette noire (Ruel *et al.* 1998).

L'installation de la régénération qui se poursuit au cours des années subséquentes est un phénomène qui a déjà été observé par le passé (Newton 1990, Ruel 1992a, Pominville et Ruel 1995, Pothier 1996). Cette source de régénération pourrait provenir d'arbres de dimensions importantes laissés sur pied, en particulier sur les aires 16 et 34 (Ouellet 1996). Également, les déchets de coupe laissés sur l'aire 10 constituent une source importante de semences. Toutefois, l'apport de semences en provenance de déchets de coupe se limite à une courte période (Fleming et Mossa 1996). Finalement, l'ensemencement par les peuplements voisins pourrait expliquer ce recrutement. Bien que dans notre étude, ces peuplements soient situés à plus de 200 m, la présence d'une couche de neige durcie a probablement permis aux semences de se disperser sur de longues distances (Haavisto 1979).

L'envahissement des parterres de coupe par les feuillus de lumière a souvent été reconnu comme un problème majeur pour la reproduction et la production ultérieure des peuplements résineux (Weetman *et al.* 1973, Frisque et Vézina 1977, Frisque *et al.* 1978). On a assisté à une forte augmentation de l'abondance des feuillus au cours des premières années. Dix ans après la coupe, les feuillus se maintiennent toujours dans le couvert et concurrencent fort probablement les résineux. Cependant, l'envahissement des feuillus au cours des premières années ne s'est pas maintenu sur une longue période de sorte que 30 ans après la coupe, la situation n'est plus préoccupante. Le déclin de la composante feuillue dans les peuplements d'épinette noire coupés à blanc est un phénomène connu (Pothier 1996). Sarrazin (1991) a d'ailleurs remarqué que les feuillus ne semblaient pas conserver une place prépondérante dans ces peuplements.

La situation des pessières à la trentième année consécutive à la coupe mécanisée ressemble à celle des peuplements d'origine où l'épinette noire domine largement. Le sapin dont la régénération préétablie était abondante, n'a pas envahi les aires comme on l'aurait présumé. Vézina et Falardeau (1988) avaient aussi remarqué la nette dominance de l'épinette noire dans des peuplements d'épinettes noires de 40 ans coupés à blanc. Toutefois, ces peuplements ne comportaient pas une régénération préétablie abondante en sapin, ce qui diffère de la présente étude. Cette situation est particulièrement étonnante car le sapin, bien que fortement représenté au moment de la coupe, n'a pu s'y maintenir au cours des 30 années suivantes.

3.1.1.2 Peuplements de sapin

Avant la coupe, la régénération en sapin était abondante sur l'ensemble des aires de coupe. Son coefficient de distribution dépassait 90 % et sa densité atteignait plus de 40 000 tiges/ha. Plusieurs auteurs ont aussi observé l'abondance du sapin dans la régénération préétablie des sapinières à maturité (Hatcher 1960, Harvey et Bergeron 1989, Ruel 1989, Pominville 1993). La coupe a provoqué une destruction considérable de la régénération, particulièrement celle du sapin, laquelle se traduit par une diminution du coefficient de distribution de 25 à 35 %. Cette baisse correspond à celle observée par Ruel (1988) et Gingras (1990) qui mentionnent qu'une coupe sans protection de la régénération préétablie peut causer une chute d'environ 30 % du coefficient de distribution originel. Le procédé de récolte ne peut expliquer à lui seul cette chute puisque l'utilisation de la débusqueuse provoque à la fois la plus faible et la plus forte baisse de cette variable dans ce type de peuplement (Ruel *et al.* 1998). L'emploi

d'un procédé non mécanisé, tels les chevaux, a conduit à une baisse du coefficient de distribution similaire à celle des débusqueuses (Ruel *et al.* 1998). Il ne faut pas oublier que de nombreux autres facteurs tels la taille de la régénération, les techniques de travail, l'opérateur de la machinerie, le drainage du sol et la pente interagissent et peuvent ainsi modifier le niveau de destruction de la régénération préétablie (Gingras 1990).

L'augmentation de l'abondance du sapin au cours des premières années dans les pessières a été moins prononcée que pour l'épinette noire. En effet, le sapin est reconnu pour sa capacité de se régénérer sous couvert, mais sa capacité de s'installer à la suite d'une coupe est beaucoup moins reconnue (Vincent 1959, Hatcher 1960). La régénération étant relativement abondante après coupe, il est possible que les microsites favorables à l'établissement des semis soient moins abondants, ce qui a pu nuire à une installation complémentaire de la régénération (Ruel *et al.* 1998). Ainsi, la plus forte augmentation du coefficient de distribution est observée sur l'aire 11 où le niveau de régénération après coupe était le plus faible et où des semenciers avaient été laissés. Selon les faibles distances de dispersion rapportées par Frank (1990), la présence de semenciers pourrait difficilement expliquer l'installation du sapin sur les aires 11 et 12. Par contre, le sapin disséminé une bonne partie de ses graines durant l'hiver (Raymond 1998) et peut alors bénéficier de la présence d'une couche de neige durcie pour disperser ses semences sur de plus grandes distances (Plusquellec 1997).

Au cours des années qui ont suivi la coupe, l'épinette noire n'a pas été en mesure de maintenir une représentation importante dans les peuplements en régénération. En effet, seules les aires 6 et 11 fournissent une proportion notable d'épinettes noires à 30 ans. Comme d'autres auteurs l'ont déjà observé par le passé (Richardson 1975, Vézina et Falardeau 1988), l'épinette noire tend à être moins abondante dans les peuplements de seconde venue que dans les peuplements originels. Cette situation est préoccupante car une forte proportion de sapin augmente la vulnérabilité des peuplements à l'égard de la tordeuse de bourgeons d'épinette (Archambault *et al.* 1990). Quant aux feuillus, ils ont envahi rapidement les aires de coupe au cours des premières années. Ce phénomène est d'ailleurs bien connu dans les sapinières où un bon nombre d'auteurs ont déjà exprimé leur inquiétude (Hatcher 1960, Frisque *et al.* 1978, Pothier 1996).

L'abondance des feuillus à 30 ans est variable selon l'aire de coupe. Sur les aires 11 et 12, les feuillus demeurent encore abondants et bien représentés dans les classes supérieures de diamètre, notamment sur l'aire 12. Ces aires correspondent à des secteurs situés au sud de la zone boréale où l'agressivité des feuillus peut être plus forte. Sur l'aire 35, laquelle représente une station productive de la sapinière à bouleau blanc, l'abondance des feuillus s'est révélée plus faible et n'a jamais rejoint celle des résineux. Il est possible que l'abondante régénération résineuse de forte taille observée sur cette aire ait pu ralentir la croissance des feuillus ou ait pu procurer aux résineux une meilleure position pour les concurrencer. À 30 ans, l'aire 12 contient toujours une bonne quantité de feuillus et ceux-ci devraient alors composer une bonne proportion des tiges dans le peuplement à maturité. Cependant, il est intéressant de noter l'effet temporaire de l'envahissement des parterres de coupe par les feuillus sur les autres aires. Le déclin est toutefois moins prononcé que celui observé dans les peuplements d'épinette noire.

3.1.1.3 Peuplements de pin gris

La régénération préétablie était relativement peu abondante sur les aires 7 et 8 et celle du pin gris était absente. Ruel (1989) a déjà observé que la régénération avant coupe est nettement plus faible dans les peuplements de pin gris que dans les sapinières et pessières. Il est alors plausible de croire qu'on ne puisse se baser essentiellement sur la protection de la régénération pour assurer la reconstitution d'un nouveau peuplement. Sur deux des aires, la présence d'une régénération principalement composée d'épinettes noires reflète la succession fréquente observée dans les peuplements de pin gris (Carleton 1982). La destruction de la régénération a été très importante sur l'aire 33 où l'utilisation d'un transporteur lors de la récolte n'a pu limiter les dommages causés à la régénération préétablie.

Sur l'aire 33, on a assisté à une installation importante de la régénération résineuse, quelques années après la coupe, notamment celle du pin gris. Ellis et Mattice (1974) avaient déjà observé l'installation d'une certaine régénération de pin gris à cinq ans. L'ébranchage sur le parterre de coupe réalisé sur les trois aires a pu contribuer au maintien d'une grande quantité de cônes au sol. Ceci laisse supposer que l'établissement de semis après coupe puisse provenir de semences viables dans les déchets de coupe (Walker et Sims 1984, Bowling et Niznowski 1991).

L'envahissement des aires de coupe par les feuillus a été important pour les aires 7 et 8. La faible installation des feuillus sur l'aire 33 peut s'expliquer principalement par la faible fertilité du site (Ruel *et al.* 1998). À 30 ans, les feuillus ne se retrouvent en quantité importante que sur l'aire 7 et constitueraient alors une part non négligeable du prochain peuplement. Les peuplements à maturité de deux aires devraient être constitués majoritairement d'épinette noire et de pin gris. Dans chacun des cas, il faut s'attendre à une dominance probable de l'épinette noire. Ceci va à l'encontre des prévisions de Weetman *et al.* (1973) lesquelles mentionnent la faible efficacité de la scarification lors des opérations de récolte comme méthode pour implanter une bonne régénération en pin gris.

3.1.1.4 Peuplements mélangés

La régénération avant coupe était très abondante en sapin dans la majorité des peuplements mélangés. Selon RUEL (1989), cette régénération était plus abondante que celle souvent observée dans ce type de peuplement. Le même auteur a d'ailleurs observé des coefficients de distribution supérieurs à 90 % dans seulement 20 % des cas, ce qui contraste avec la présente étude pour laquelle ce niveau a été atteint dans trois des quatre peuplements. Cependant, il ne faut pas oublier que, pour les fins de cette étude, les peuplements sélectionnés présentaient tous une abondante régénération préétablie ce qui suppose un biais à la hausse de nos valeurs. L'aire 9, qui comporte la régénération préétablie la plus faible, représente une situation courante lorsque le peuplement mélangé renferme une certaine quantité de pin gris (RUEL 1989). Même l'utilisation des chevaux comme moyen de débardage a causé une destruction importante sur la régénération préétablie. Toutefois dans ce cas, la baisse importante de coefficient de distribution pourrait surtout être attribuable à l'utilisation de la machinerie pour déblayer les sentiers de débusquage primaires (WEBBER *et al.* 1969).

Au cours des cinq années qui ont suivi la coupe, il y a eu une remontée graduelle de l'abondance des résineux notamment celle du sapin, laquelle était nettement supérieure à celle de l'épinette sur ces sites. D'ailleurs, WEETMAN *et al.* (1973) rapportent la faible reproduction des épinettes lesquelles sont plus souvent qu'autrement supprimées par les espèces feuillues. Le tremble et le bouleau à papier ont été nettement favorisés par l'ouverture du couvert de sorte qu'à la fin de la cinquième année depuis la coupe, ils étaient beaucoup plus abondants qu'ils ne l'étaient avant la coupe.

La destruction du couvert a également avantagé les feuillus non commerciaux, notamment le cerisier de Pennsylvanie et l'érable à épis qui se sont avérés très agressifs au cours des premières années. Cet envahissement rapide et abondant des essences de compétition est un phénomène bien connu dans les peuplements mélangés soumis à une perturbation (RUEL 1992b, MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC 1994, ARCHAMBAULT *et al.* 1998). L'envahissement par les espèces de compétition n'a toutefois pas empêché les essences principales de constituer les meilleurs sujets dans plus de 60 % des parcelles de la majorité des aires à dix ans. L'aire 19, qui représente une station productive située au sud de la forêt boréale, comportait une abondante régénération d'érables à épis et de cerisiers de Pennsylvanie laquelle a produit les meilleurs sujets dans plus de 50 % des parcelles.

À 30 ans, les résineux dominent les feuillus commerciaux en abondance mais ces derniers devraient tout de même composer une part importante du peuplement en devenir. L'abondance des essences non commerciales a chuté grandement et, à l'exception de l'aire 19, ces dernières ne devraient alors plus constituer une source de compétition importante pour les essences principales.

3.1.2 Évolution de la hauteur et de la croissance en hauteur de l'épinette noire et du sapin baumier

L'analyse de la hauteur des tiges de sapin et d'épinette des aires de coupe et des placettes a donné des résultats quelque peu différents. Il est plausible de croire que la précision obtenue dans l'évaluation du comportement des deux résineux ne soit pas la même. La superficie de l'aire de coupe expliquerait en partie cette divergence des résultats. En effet, les aires de coupe dont la superficie varie de 1,2 à 4 ha présentaient fort probablement des conditions de sites plus hétérogènes que celles des placettes qui ne couvrent qu'une étendue de 0,04 ha. Dans le cas des aires, les comparaisons entre les tiges pourraient se faire entre des sapins et des épinettes qui ne croissent pas réellement dans les mêmes conditions. L'utilisation de placettes devient alors intéressante lors de l'interprétation des résultats car elle vient atténuer l'interaction entre les conditions de station et la croissance en hauteur de la régénération, ce qui rend plus judicieuse la comparaison de la dynamique de régénération du sapin et de l'épinette, à l'échelle des placettes.

L'analyse des données des placettes permet de dégager des tendances en rapport avec la dynamique de ces deux essences après coupe. Quelques années après la coupe, la hauteur du sapin surpasse celle de l'épinette noire dans la majorité des cas (Figures 12 et 13). Bien que cette observation puisse être imputée à une taille plus élevée au moment de la coupe, les résultats tendent à démontrer que le sapin réagit plus rapidement à l'ouverture du couvert. Une étude réalisée dans un peuplement d'épinette noire coupé à blanc a également permis d'observer une meilleure croissance du sapin les premières années après la récolte (DOUCET et BOILY 1995). Cela sous-entend que cette essence possède une meilleure capacité de réaction que l'épinette soumise à l'augmentation soudaine de l'intensité lumineuse. PARENT et MESSIER (1995) ont d'ailleurs remarqué une bonne poussée de croissance en hauteur du sapin lors de l'accroissement de la disponibilité en lumière notamment quand cette dernière avant coupe était faible.

Un inventaire de régénération, effectué quelques années après la coupe, aurait soulevé l'hypothèse que la coupe avantageait nettement le sapin et que l'épinette se voyait totalement dominé tout au long de la révolution. Les résultats démontrent que l'épinette a renversé la situation à un point tel qu'elle se retrouve plutôt au-dessus du sapin 30 ans après coupe. L'épinette profite, après quelques années, d'une meilleure croissance en hauteur que le sapin et cet avantage se maintient plusieurs années après la coupe. Ces observations concordent très bien avec celles de DOUCET et BOILY (1995) qui ont noté la meilleure croissance de l'épinette par rapport à celle du sapin à la huitième année suivant la coupe. Il est possible que ce comportement de l'épinette soit une caractéristique intrinsèque de l'espèce. Mais cet avantage de l'épinette sur le sapin à la fin de l'horizon pourrait aussi provenir d'un comportement propre à chacune des essences dans des conditions de stations particulières. Ce dernier aspect sera abordé ultérieurement.

L'analyse des résultats des aires de coupe ne permet pas une interprétation aussi claire. Quelques années après la coupe, il est plus difficile de distinguer qui de l'épinette ou du sapin a la meilleure croissance car, dans tous les cas, la taille de l'épinette ne réussit pas à surpasser celle du sapin. L'hétérogénéité des conditions de station expliquerait d'une façon plausible la plus faible performance de l'épinette observée dans les parcelles. ACHIM (1998) a comparé, de façon détaillée, la hauteur des tiges dans les parcelles contenant ces deux essences à celles qui contenaient du sapin. Les résultats démontrent que le sapin a mieux performé sur une aire donnée que dans les placettes où il se retrouvait seul. En effet, à ces endroits, sa taille était plus élevée à 30 ans qu'aux endroits où il était accompagné de l'épinette. Il semble donc que les meilleurs sites aient été occupés par le sapin. De cette façon, la hauteur des sapins, en profitant de conditions plus favorables, viendrait masquer la meilleure performance de l'épinette noire dans les placettes où les deux essences poussent côte à côte. Les conditions de croissance jouent donc un rôle important dans la dynamique de régénération des espèces après coupe.

La meilleure croissance en hauteur du sapin lorsque l'évaluation porte sur une plus grande superficie (aire) n'est pas un phénomène surprenant si l'on prend en compte la localisation des secteurs de coupe sur le territoire québécois. Ces derniers se retrouvent dans des domaines éco-climatiques où le sapin est plus abondant que l'épinette, le premier étant mieux adapté aux conditions mésiques qui prévalent. Par contre, les épinettes retenues dans la présente étude sont plus performantes dans les endroits plus pauvres. BRUMELIS et CARLETON (1988) ont d'ailleurs observé de meilleures croissances en hauteur pour l'épinette noire par rapport au sapin lorsque le ratio C/N de la station était élevé, ce qui reflète, dans ce cas, une faible qualité de station. L'épinette noire semble donc mieux adaptée et plus performante que le sapin dans les stations pauvres, ce qui lui permet de surpasser le sapin au cours des années subséquentes à la coupe. Toutefois, la prudence est de rigueur. Il faut éviter de généraliser ces observations car elles sont basées sur un échantillonnage restreint dont la portée réduit la précision des résultats.

3.2 Effet des caractéristiques de la régénération à 10 ans sur la production à 30 ans

L'évaluation du coefficient de distribution de la régénération, quelques années après coupe, constitue un paramètre très important. Il est à la base même de l'hypothèse sur laquelle repose l'estimation du rendement de la coupe avec protection de la régénération et des sols. L'hypothèse formulée est la reconstitution d'un peuplement qui produira un volume équivalent au peuplement précédent, sans délai de la régénération, en autant que la distribution de la régénération soit adéquate. Celle-ci est adéquate lorsque les critères suivants sont respectés :

> « Quatre ans après la récolte, le coefficient de distribution des essences principales dont la hauteur est d'au moins 5 cm, doit être égal ou supérieur à celui que ces essences avaient dans le peuplement récolté lorsque celui-ci était supérieur à 60 %. Pour le cas où il était inférieur à 60 %, le coefficient de distribution des essences principales doit être de 10 % supérieur à celui que ces essences avaient dans le peuplement récolté, jusqu'à concurrence de 60 %. »
>
> « Dix ans après la récolte, les essences principales doivent comporter, sur la même surface, un nombre suffisant de jeunes arbres dégagés pour obtenir un coefficient de distribution au moins égal à celui qu'elles avaient dans le peuplement récolté, si celui-ci était supérieur à 60 %. Pour le cas où il était inférieur à 60 %, le coefficient de distribution des essences principales doit être de 10 % supérieur à celui que ces essences avaient dans le peuplement récolté, jusqu'à concurrence de 60 % (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC 1998a) ».

Selon les résultats, le volume à 30 ans ne semble pas lié au coefficient de distribution de la régénération à 10 ans, ni à la densité des tiges à 10 ans. On observe des coefficients de distribution résineux similaires après coupe mais qui correspondent à des volumes passablement différents après 30 ans. Les corrélations effectuées par RUEL *et al.* (1998) pour l'ensemble des pessières et des sapinières n'ont pas permis d'observer des relations significatives entre le volume et l'abondance de la régénération, mesurée à partir du coefficient de distribution et de la densité. Ceci confirme les conclusions de BERTRAND *et al.* (1992) qui mentionnent que la seule caractérisation du coefficient de distribution et du nombre de tiges à l'hectare ne suffit pas à prévoir la production des sapinières. Cependant, la faiblesse de notre échantillonnage nous incite à être prudent dans l'interprétation des données. En effet, d'autres variables jouent un rôle important dans la productivité des stations.

L'absence de données sur le coefficient des tiges marchandes avant coupe empêche toute conclusion à propos de la validité de l'hypothèse de production. Par contre, il est intéressant de comparer les productivités obtenues à 30 ans à la valeur de 60 % de distribution dictée par les normes du MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC (1998a). Bien qu'on ait retrouvé pour l'ensemble des peuplements un coefficient de distribution supérieur à 60 % à 10 ans, les productivités obtenues à 30 ans ont été très variables sauf pour celles des pinèdes, de sorte que quelques-uns d'entre eux renfermaient un faible volume en essences principales. Le cas des aires 10 et 34 des peuplements

d'épinette constitue un exemple typique de la grande hétérogénéité des productivités pour un même coefficient de distribution. Ainsi, une distribution adéquate des tiges au début de la révolution du peuplement ne garantit pas nécessairement un volume élevé à maturité. On peut donc s'attendre à ce que les peuplements de faible productivité à 30 ans, même s'ils étaient adéquatement régénérés à 10 ans, comporteront une production à la baisse par rapport au peuplement d'origine (Ruel *et al.* 1998). Quant aux pinèdes, la variation de production est plus faible. Cela correspond aux observations de Pominville et Doucet (1993) qui ont noté qu'au-delà de 60 % de distribution, les possibilités d'accroître la productivité demeurent faibles.

Bien que l'abondance de la régénération, exprimée tant en densité qu'en distribution des tiges, puisse tout de même jouer un rôle important en regard de l'estimation de la production du peuplement à venir, il est clair que plusieurs autres facteurs doivent aussi être pris en compte. La fertilité de la station du site est un des facteurs importants à retenir car elle reflétera directement le potentiel de croissance des arbres. Le cas des pessières ne reflète cependant pas cette situation du fait que l'aire 34, dont la classe de fertilité est faible, affiche la meilleure productivité à 30 ans. On peut faire une constatation semblable pour les peuplements mélangés où l'on retrouve des productions très variables à 30 ans pour deux aires de même classe de fertilité. Cela traduit la difficulté d'isoler un seul facteur pour expliquer la production du peuplement à venir et aussi l'importance de prendre en compte un ensemble de facteurs pour obtenir une meilleure évaluation.

La structure et la taille de la régénération jouent un rôle prépondérant dans la productivité d'un peuplement. En effet, tant l'abondance et la hauteur des semis de résineux que des feuillus de lumière peuvent expliquer la grande hétérogénéité des productions obtenues à 30 ans. L'installation rapide des feuillus à la suite à la d'une coupe à blanc peut exercer une compétition importante contre les semis résineux notamment si cette régénération est de petite taille. La perte probable de croissance donc de productivité des jeunes peuplements liée à une forte compétition est un phénomène abondamment documenté (MacLean et Morgan 1983, Brand et Weetman 1986, Ruel 1992b). Les résultats de l'étude démontrent que les quelques aires où la densité de feuillus de grande taille était forte affichent une productivité plus faible à 30 ans. Le coefficient de distribution des meilleurs sujets résineux à dix ans est une variable qui reflète assez justement le portrait de la régénération. Il intègre à la fois la notion de l'abondance des résineux et des feuillus ainsi que leur taille relative. Le cas des aires 12 et 35 des peuplements de sapin démontre bien l'effet de ces deux variables sur la productivité des peuplements. Bien que ces deux aires présentent une densité et un coefficient de distribution similaires, on observe une nette différence dans la productivité de ces deux peuplements à 30 ans. La productivité beaucoup plus faible de l'aire 12 pourrait s'expliquer par le fait que cette aire ait subi un envahissement plus important des feuillus et que ces derniers présentaient une taille plus forte que sur l'aire 35. Cette situation reflète alors bien le coefficient de distribution du meilleur sujet qui est beaucoup plus faible pour l'aire 12. Il est par contre important de rappeler qu'aucune relation significative n'a été observée entre le coefficient de distribution du meilleur sujet à 10 ans et la productivité à 30 ans (Ruel *et al.* 1998). Ceci témoigne encore une fois de la nécessité de prendre en compte plusieurs facteurs dans l'estimation de la productivité du peuplement à venir.

L'effet positif d'une régénération de forte taille sur la productivité à long terme des peuplements a été rapporté par de nombreux auteurs dans le passé (Paquin et Doucet 1992, Pothier *et al.* 1995, Lussier *et al.* 1992). Une régénération de forte taille bénéficie alors d'une avance de plusieurs années sur la croissance des semis établis à la suite de la coupe (Groot 1996). Elle sera en bien meilleure position pour concurrencer les feuillus ce qui se traduira d'une part par une meilleure croissance des tiges et d'autre part par un âge d'exploitabilité atteint plus rapidement. L'évaluation séparée des gaules et des semis pourrait donc améliorer notre capacité à prévoir la production à venir des peuplements (Bertrand *et al.* 1992).

Conclusion

Dans les peuplements d'épinette noire, la reconstitution d'un peuplement de nouveau dominé par l'épinette ne devrait pas trop être un handicap sur les aires étudiées. Le sapin, qui était abondant sur seulement une aire, ne devrait pas constituer une part importante du prochain peuplement. Malgré une meilleure représentation des feuillus à la suite de la coupe, leur présence sur les aires ne devrait qu'être temporaire. Les sapinières comportaient une importante régénération préétablie en sapin, ce qui devrait permettre le renouvellement d'un peuplement de composition semblable à celui récolté. Bien que les feuillus aient abondamment envahi les parterres à la suite de la coupe, un certain déclin de ces essences est observé à plus long terme. A 30 ans, l'importance des feuillus varie fortement, ce qui laisse présumer qu'ils compteront pour une proportion non négligeable dans certains peuplements à maturité. Pour les peuplements de pin gris, la succession après coupe a été très variable de sorte qu'il devient plus difficile de prévoir la composition du peuplement à venir. Des pinèdes à pin gris devraient se reconstituer sur deux des aires. L'évolution des aires mélangées est aussi variable. A 30 ans, les résineux étaient plus abondants que les feuillus commerciaux. Le sapin devrait constituer une part importante du prochain peuplement.

A l'échelle des placettes, l'évaluation de la hauteur de l'épinette noire et du sapin baumier après coupe indique une meilleure réaction du sapin au cours des premières années qui suivent l'ouverture du couvert. Par la suite, l'épinette noire présente une meilleure croissance ce qui lui permet de surpasser la taille du sapin. Par contre, l'examen des aires de coupe et des placettes ne comportant que le sapin démontre une meilleure performance du sapin. Il est probable que le sapin soit plus avantagé par les milieux plus productifs mais qu'il soit moins apte à concurrencer l'épinette qui profite des meilleures croissances, durant la deuxième moitié de la période d'étude, là où les conditions sont plus pauvres.

Aucun lien direct entre le coefficient de distribution et la densité à 10 ans et la production à 30 ans n'a pu être observé. La simple évaluation de l'abondance de la régénération quelques années après la perturbation se révèle donc inappropriée pour affirmer que le prochain peuplement puisse être en mesure de fournir une production équivalente à celui récolté. De plus, en dépit de la bonne qualité des coefficients de distribution obtenus à 10 ans, les productions à 30 ans se sont avérées très variables. Ceci laisse supposer qu'un coefficient de distribution supérieur à 60 % ne pourrait garantir une production intéressante à maturité.

Il semble donc que plusieurs facteurs puissent influencer la production d'un peuplement tout au long de son évolution. Bien qu'aucune relation n'ait été obtenue entre le coefficient de distribution des meilleurs sujets à 10 ans des essences principales et la productivité à 30 ans, la structure et la taille de la régénération sont tout de même des variables importantes dans l'estimation de la productivité à long terme d'une station. Une régénération de haute taille sera en meilleure position pour concurrencer la compétition lors de l'ouverture du couvert. Il sera alors important de différencier les semis des gaules lors des inventaires de régénération afin d'obtenir une meilleure estimation de la productivité à long terme du peuplement à venir. De même, la qualité de la station constitue aussi une variable indispensable dans cette évaluation car elle joue un rôle direct sur le potentiel de croissance des arbres.

Seconde partie

Aires d'observations du CFL

Introduction

Les résultats de la présente étude découlent d'un projet initié en 1947 par le ministère des Affaires du Nord et des Ressources naturelles du Canada. Ce projet de recherche à long terme visait, à même l'observation d'une quinzaine d'aires permanentes, l'étude de l'évolution après coupe de peuplements forestiers de types variés situés dans différentes sections forestières de la province de Québec. Le projet, abandonné à la fin des années 1970, a été repris au début des années 1990 grâce aux conventions de recherche entre la Faculté de foresterie et de géomatique de l'Université Laval et le ministère des Ressources naturelles du Québec. Les buts du projet étaient alors d'établir et d'analyser la croissance ligneuse dans les aires d'observations permanentes afin de valider les tables de production retenues par le ministère des Ressources naturelles du Québec pour les forêts mélangées boréales ainsi que de contribuer à la mise au point de tables de production régionales.

La présente étude concerne l'évolution de la haute régénération sur une période de plusieurs dizaines d'années et permet d'évaluer son apport dans la productivité du nouveau peuplement. La modélisation des rendements sur des superficies qui ont fait l'objet d'une coupe avec protection de la haute régénération (CPHR) permet de synthétiser l'évolution de la production des pessières et sapinières selon les caractéristiques après coupe des peuplements et des stations. Les objectifs spécifiques poursuivis sont :

1) d'évaluer l'effet de la dimension de la régénération préétablie sur la productivité des pessières noires et des sapinières;

2) de modéliser l'évolution de la production après la coupe en fonction de caractéristiques des stations et du peuplement.

La présente étude ne porte que sur quatre de ces quinze aires soit celles des rivières aux Rats, Bell et Vermillon pour les pessières noires et de rivière Matane pour les sapinières.

Chapitre premier

Méthodes

1.1 Description des aires d'observations

Dans la majorité des aires d'observations du Centre de foresterie des Laurentides (CFL), les coupes ont laissé sur les parterres une régénération abondante composée de tiges de dimensions variables. Par conséquent, les parterres de coupes de ces aires ressemblent, à plusieurs égards, à ceux issus de coupes avec protection de la haute régénération (CPHR).

1.1.1 Rivière Vermillon

L'aire d'observations de la rivière Vermillon est localisée à l'ouest de La Tuque et se retrouve au 47° 20' N. de latitude et au 73° 40' O. de longitude. D'une altitude moyenne de 490 m, elle fait partie du domaine de la sapinière à bouleau jaune et appartient à la sous-région écologique 4cT (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC 1998b). On y retrouve des sapinières à épinette noire ou à bouleau à papier de même que des pessières à épinette noire et des pinèdes à pin gris. Les peuplements proviennent de coupes effectuées en 1932 et 1935 et d'un feu de 1923. Le dispositif a été établi en 1951 et a fait l'objet de remesurages en 1961, 1971 et en 1994-1995. Il comprenait à l'origine 295 placettes dont 50 % provenaient de coupe. En 1961, 25 nouvelles placettes se sont ajoutées au dispositif déjà existant. Celles-ci représentent des coupes totales effectuées entre 1952 et 1956 dans des peuplements de pin gris âgés d'une centaine d'années. Cette aire d'observations a subi le passage de la dernière épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette (TBE) dans les années 1970.

Une quinzaine d'années après la coupe, les aires d'épinette et de sapin étaient reconnues comme moyennement bien régénérées. La régénération, presque exclusivement composée de ces deux essences, présentait un coefficient de distribution variant entre 60 et 71 % selon le type de couvert. La densité résineuse variait entre 11 000 et 12 000 tiges/ha. De ce nombre, une forte proportion mesurait moins de 1,25 cm au dhp (66 à 76 %). Sur les aires de peuplements de pin gris (deuxième dispositif), environ une dizaine d'années après la coupe, la régénération se composait de 1 850 tiges/ha dont 85 % étaient de l'épinette noire. Malgré leur nombre, les tiges semblaient concentrées dans des endroits bien précis de sorte qu'il est peu probable que la régénération puisse produire un peuplement d'avenir suffisamment bien stocké (HATCHER 1963).

1.1.2 Rivière aux Rats

Cette aire d'observations est localisée à près de 100 km au nord de Dolbeau. D'une altitude moyenne de 300 m, elle s'étend entre 49° 25' N. et 49° 35' N. de latitude et entre 72° 10' O. et 72° 20' O. de longitude. Elle fait partie du domaine de la sapinière à bouleau à papier et appartient à la sous-région écologique 5dT (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC 1999a). On y retrouve des sapinières pures ou à bouleau à papier de même que des pessières à épinette noire et à pin gris ainsi que des pinèdes grises dont l'origine est la coupe à blanc et le feu. L'aire est constituée de deux blocs; le premier tire son origine de coupes totales réalisées entre 1937-1948 et comporte 224 placettes. Le bloc 2 quant à lui regroupe 30 placettes et a pour origine une coupe de 1949-1950. Ce dispositif a été établi en 1952 et a fait l'objet de remesurages en 1963, en 1972 et en 1992-1993.

Lors du mesurage de 1952, soit entre deux et quinze ans après la coupe totale, les aires présentaient une régénération qualifiée de bonne à moyenne (MACARTHUR 1959). Le coefficient de distribution de la régénération résineuse variait de 53 à 79 % selon le type de couvert. Les peuplements d'épinette noire en association avec le pin gris constituaient les peuplements les moins bien stockés. Par contre, ceux composés de sapin baumier et d'épinette noire présentaient le meilleur coefficient de distribution de résineux. La densité des résineux variait de 4 400 à 11 700 tiges/ha et se composait exclusivement de sapin baumier et d'épinette. Le pin gris s'est peu régénéré à la suite de la coupe.

1.1.3 Rivière Bell

Cette aire d'observations est localisée au nord de Senneterre. D'une altitude moyenne de 270 m, elle se situe à 48° 47' N. de latitude et 77° 20' O. de longitude. Elle appartient au domaine climacique de la pessière noire à mousses et à la sous-région écologique 5aT (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC 1999b). On y retrouve des pessières à épinette noire pures et en association avec le sapin baumier, le pin gris, le peuplier baumier et le bouleau à papier. Les peuplements proviennent de coupes effectuées entre 1950 et 1955 et d'un feu vers 1850. Le dispositif a été établi en 1952 et a fait l'objet de remesurages en 1953, en 1965, en 1977-1978 et en 1995-1996. Ce dispositif comportait à ses débuts 153 placettes dont 101 avaient pour origine la coupe.

Un à quatre ans après la coupe, l'abondance de la régénération variait peu en regard des deux types de couvert échantillonnés. Les peuplements étaient faiblement régénérés et leur coefficient de distribution en résineux variait entre 26 et 34 % (VEER 1954). La régénération se composait essentiellement d'épinette noire. Les peuplements d'épinette noire, en association avec le pin gris, présentaient la plus faible abondance. L'installation de feuillus, quelques années après l'ouverture du couvert, fut négligeable. Leur coefficient de distribution était inférieur à 2 %. Le niveau de régénération résineuse était bien en deçà du niveau observé avant la coupe pour les deux types de peuplements étudiés.

1.1.4 Rivière Matane

Cette aire d'observations est située dans la Réserve faunique de Matane. D'une altitude moyenne de 370 m, elle s'étend entre le 48° 30' N. et 49° 00' N. de latitude et entre le 66° 30' O. et 67° 10' O. de longitude. Elle appartient au sous-domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'est, plus spécifiquement à la sous-région écologique du massif gaspésien (5h-T) (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC 1998c). Les peuplements avant coupe étaient des sapinières mûres ou surannées n'ayant jamais fait l'objet de récolte auparavant. La station était qualifiée de fertile en raison de la prédominance de la classe I de VÉZINA et LINTEAU (1968) (ZARNOVICAN 1987, BERTRAND *et al.* 1992). Son drainage était bon à modérément bon (sols secs et frais) et ses pentes faibles (5 à 10 %) à modérées (10 à 15 %) (BERTRAND *et al.* 1992).

Les peuplements actuels sont issus de coupes à blanc exécutées lors des étés de 1933, 1944 et 1954. Le débusquage des bois abattus lors de ces coupes s'est fait durant l'hiver qui suivait. À l'époque, les peuplements se composaient de sapinières équiennes pures et de sapinières en association avec l'épinette blanche, l'épinette noire et le bouleau à papier. Le dispositif installé en 1954 comportait à ses débuts 252 placettes réparties dans quatre blocs. Le premier mesurage a été effectué en 1954. Il fut suivi de remesurages en 1964, 1978 et en 1990-1991. L'impact de la tordeuse de bourgeons de l'épinette (TBE) sur les peuplements a été faible durant la période de croissance étudiée (BERTRAND *et al.* 1992). Dix ans après la coupe, la régénération était abondante. Les aires reconnues comme entièrement ou bien régénérées présentaient un coefficient de distribution de résineux de 91, 77 et 74 % respectivement 1, 10 et 20 ans après la coupe. Dans les peuplements de 10 et 20 ans, la régénération, principalement dominée par le sapin, présentait plus de 5 000 tiges/ha mesurant au moins 2,5 cm au dhp. Par contre, ce nombre chutait à près de 1 250 tiges/ha sur les sites soumis à la coupe, l'année précédente. De nombreuses tiges de haute taille ont également été conservées sur les parterres. Plus de 1 500 tiges/ha mesuraient au moins 5 cm au dhp.

1.2 Échantillonnage

Chaque aire d'observations couvre une surface d'environ 14 km^2 et est constituée de un à quatre blocs (PFALZGRAF 1970). Chaque bloc comprend un dispositif systématique d'inventaire permanent composé de placettes-échantillons de 0,1 acre (405 m^2) disposées selon un réseau continu à mailles carrées, de 10 chaînes sur 10 chaînes (200 m x 200 m). Le tout équivaut à un taux de sondage de 1 %. Les données de diamètre ont, à l'origine, été mesurées selon la classe d'un pouce (2,54 cm).

Un relevé de la régénération a été effectué dans vingt carrés de 0,001 acre (4 m^2) disposés systématiquement dans chaque placette-échantillon lors du premier et quelquefois lors du deuxième inventaire (PFALZGRAF 1970). Pour le dernier inventaire de même que pour les quelques inventaires antérieurs, des études d'arbres ont été réalisées sur trois à cinq arbres par placette. Les études d'arbres comprenaient les mesures de la hauteur totale, du diamètre à hauteur de poitrine et de l'âge à la souche ou à hauteur de poitrine. Lors du dernier inventaire, des tiges ont aussi été récoltées en vue d'analyses rétrospectives. D'une manière générale, ces tiges ont été coupées à des intervalles de 0,2, 0,7, 1,3 et 2,0 m et, par la suite, à tous les mètres jusqu'au sommet du tronc. Les rondelles ont été séchées et poncées pour ensuite être analysées au moyen du logiciel Windendro™ (GUAY *et al.* 1992). La largeur des cernes annuels a été mesurée sur quatre rayons : les deux premiers le long du plus grand axe et les deux autres selon un angle de 90° par rapport au grand axe. Le programme *Anatige* (BÉGIN 1996) a servi à la compilation des données.

1.3 Calcul de l'indice de qualité de station

L'indice de qualité de station (IQS) correspond ici à la hauteur totale des arbres dominants d'une essence particulière à un âge de référence de 50 ans à hauteur de poitrine. L'utilisation de l'âge à 1,30 m a été privilégiée puisqu'il permet en bonne partie d'éliminer la période d'oppression généralement indépendante de la qualité de station. Les analyses de tiges ont servi à calculer l'équation de l'IQS (équation 1). Ces tiges devaient être exemptes d'oppression. C'est pourquoi, seules les tiges dont l'âge à hauteur de poitrine était égal ou inférieur au temps depuis la coupe ont été retenues dans les calculs.

Les données utilisées pour calculer l'IQS de chaque placette sont l'âge à hauteur de poitrine et la hauteur totale recueillis à partir d'analyses de tiges ou d'études d'arbres. Comme lors de la construction du modèle, les arbres prédisposés à l'oppression ont été exclus des calculs.

[1] $$H_{50} = 1{,}3 + (H_1 - 1{,}3)\left(\frac{1-\exp\left(-b_1\left(H/A_1\right)^{b_2} A_1^{b_3-1} A_{50}\right)}{1-\exp\left(-b_1\left(H/A_1\right)^{b_2} A_1^{b_3-1} A_1\right)}\right)^{b_4}$$

où H_1 = Hauteur à l'âge A_1

H_{50} = Hauteur prédite à l'âge de référence de 50 ans (A_{50})

b_1, b_2, b_3, b_4 = Coefficients à estimer

1.4 Calcul du volume marchand de la placette

Le volume marchand des placettes a été déterminé à l'aide d'un tarif de cubage général (Perron 1985). Des relations hauteur-diamètre ont été calculées pour chaque année d'inventaire et pour chaque essence en faisant appel à l'ensemble des données disponibles, soit les études d'arbres et les analyses de tiges. Les analyses de tiges ont servi à reconstituer les relations des trois premiers inventaires. À cette fin, une équation a alors été conçue afin de convertir les diamètres sans écorce après séchage en diamètre humide avec écorce.

L'évaluation de la relation hauteur-diamètre repose sur le choix séquentiel d'un des trois modèles qui suivent. Le premier modèle utilise un paramètre pour exprimer la hauteur de la tige. Il fait intervenir le diamètre moyen à hauteur de poitrine et la hauteur moyenne des observations d'arbres de chacune des placettes (Begin et Raulier 1995). Une hauteur est ainsi calculée pour chacune des essences et des années d'inventaire. Afin d'être en mesure d'utiliser une relation paramétrique hauteur-diamètre, il faut observer au minimum trois arbres par placette. Si le nombre d'observations s'avérait insuffisant, une relation hauteur-diamètre basée selon l'approche du type forestier était utilisée comme modèle. Ainsi, à chacune des périodes de mesure et pour chaque type forestier, un minimum de quinze observations ont servi à la calibration de la relation selon l'espèce. Finalement, pour les essences dont le nombre d'observations d'arbres était trop limité, la hauteur totale de la tige a été calculée en se servant de la relation locale disponible, soit celle calculée par le ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Cette relation hauteur-diamètre est calibrée selon l'espèce pour un ensemble de placettes d'une région donnée.

1.5 Modélisation du volume

Afin d'évaluer la production du volume marchand brut et de quantifier l'impact de la régénération, les données des différents inventaires propres à chacune des aires, ont été utilisées. La modélisation de la croissance du volume des aires des rivières aux Rats, Vermillon, Bell et Matane a été réalisée selon une adaptation de la dérivée première de l'équation de Chapman-Richards (Richards 1959). Comme le volume d'un peuplement décroît durant sa période de sénescence, il importe que le modèle reflète cette tendance. Le modèle conçu (équation 2) s'ajuste très bien à l'évolution de la production des peuplements et a été utilisé avec succès par Riopel (1999).

[2] $$VR_{10} = b_1(\exp(b_2(T + b_4\, f(ID_{10}))))[1 - \exp(b_2(T + b_4\, f(ID_{10})))]^{IQS^{b_5}}$$

où VR_{10} = Volume marchand des résineux (m^3/ha)

T = Temps depuis la coupe (ans)

IQS = Indice de qualité de station (m à 50 ans à hauteur de poitrine)

ID_{10} = Indice de diamètre à 10 ans

f (ID_{10}) = Effet de l'indice de diamètre à 10 ans sur la translation latérale des courbes de production :

$\log_{10}(ID_{10}+1)$ pour les pessières et ID_{10} pour les sapinières

b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 = Coefficients à estimer

En plus du temps (T) et de l'indice de qualité de station (IQS), la taille de la régénération joue un rôle important. La dimension et l'abondance de la régénération se caractérisent à l'aide du calcul de l'indice de diamètre. Cet indice porte sur la moyenne du dhp des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare (40 par placette). Ainsi, au lieu de calculer le diamètre moyen de toutes les tiges de la placette, nous avons retenu seulement les plus gros individus, c'est-à-dire ceux ayant le plus de chance de survivre et de constituer la part la plus importante du volume marchand du peuplement à maturité (Riopel 1999). L'indice de diamètre permet d'effectuer une translation latérale des courbes de production [f (ID_{10})] comme le proposent Archibald et Arnup (1993). Les courbes de production sont donc générées en posant l'hypothèse que l'effet de la régénération préétablie se traduit essentiellement par un changement dans l'âge d'exploitabilité après coupe. Afin de bien caractériser les placettes dont la quantité de régénération préétablie est anormalement faible, le calcul de la moyenne des 1 000 tiges attribue la valeur 0 aux semis dont le diamètre n'a pas atteint le dhp retenu. Ainsi, si l'on n'a que 500 tiges à l'hectare de 2 cm de diamètre, l'indice de diamètre obtenu ne sera que de 1 cm.

Pour pallier au fait que l'année de réalisation du premier inventaire varie d'une placette et d'un dispositif à l'autre, il a été nécessaire d'évaluer l'indice de diamètre à un âge de référence fixe, soit dix ans après la coupe. Pour ce faire, des équations non linéaires ont été élaborées pour chacun des dispositifs de manière à obtenir l'indice de diamètre à dix ans selon l'indice de diamètre de l'inventaire le plus près de la dixième année depuis la coupe et de l'indice de qualité de station de la placette.

La procédure NLINMIX du progiciel SAS a servi au calcul des coefficients. Les valeurs générées ont été choisies en favorisant les résultats qui minimisaient l'erreur-type résiduelle et en s'assurant de l'homogénéité des résidus.

Chapitre deux

Résultats

2.1 Modélisation de la production pour les pessières noires

Modèle

L'équation [3] a servi à la modélisation de la production des pessières noires.

2.1.1 Évolution de la production à la rivière aux Rats

Dans les placettes étudiées, l'indice de qualité de station varie de 10 à 16 m et l'indice de diamètre observé varie de 0 à 6 cm, 10 ans après la coupe.

Le tableau 4 présente les caractéristiques statistiques de l'équation de la production des pessières noires. Le modèle s'ajuste très bien aux observations avec un pseudo-R^2 de 88 % et une erreur-type résiduelle de 13,9 m^3/ha.

Comme le paramètre b_5 n'est pas significativement différent de -1, il a été fixé à -1.

[3] $$VR_{10} = b_1(\exp(b_2(T + b_4\log_{10}(ID_{10} + 1))))(1 - \exp(b_2(T + b_4\log_{10}(ID_{10} + 1))))^{b_3 IQS^{b_5}}$$

où VR_{10} = Volume marchand des résineux (m^3/ha)

T = Temps depuis la coupe (ans)

IQS = Indice de qualité de station (m à 50 ans à hauteur de poitrine)

ID_{10} = Indice de diamètre à 10 ans

b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 = Coefficients à estimer

Tableau 4. Caractéristiques statistiques de l'équation de la production des pessières noires

Coefficients et caractéristiques des équations						
AIRES	b_1	b_2	b_3	b_4	SE	R^2
						m^3/ha
Rivière aux Rats	6 306,09	-0,0265	166,68	16,50	13,9	87,9 %
Rivière Bell	7 872,99	-0,0184	103,34	6,20	14,9	84,6 %
Rivière Vermillon	3 893,20	-0,0109	78,88	31,25	11,6	86,0 %

Intervalles de confiance des coefficients (a = 5 %)				
AIRES	b_1	b_2	b_3	b_4
Rivière aux Rats	[5 069, 7 543]	[-0,033, -0,020]	[107, 226]	[11,6 , 21,4]
Rivière Bell	[4 375, 11 371]	[-0,026, -0,010]	[64, 142]	[1,3 , 11,1]
Rivière Vermillon	[2 070, 5 716]	[-0,017, -0,005]	[46, 112]	[18,2 , 44,3]

La figure 19 présente l'évolution des courbes de production pour une variation d'indices de diamètre et un indice de qualité de station maintenu à 14 m. A 55 ans, pour un indice de qualité de station (IQS) de 14 m, et des indices de diamètre à 10 ans (ID_{10}) de 1, 3 et 6 cm, la durée de la révolution est raccourcie de 5, 10 et 14 ans respectivement par rapport à un indice de diamètre à 10 ans (ID_{10}) de 0 cm. Par conséquent, la protection de la haute régénération semble donc procurer une diminution notable de la révolution forestière. L'évolution du volume marchand des résineux, engendrée par divers indices de qualité de station, est présentée à la figure 20. A 55 ans, pour un ID_{10} de 1 cm, on obtient un volume marchand des résineux de près de 30 m^3/ha pour un IQS de 10 m alors que ce volume est quatre fois plus élevé lorsque l'IQS s'élève à 16 m.

2.1.2 Évolution de la production à la rivière Bell

Dans les placettes étudiées, l'indice de qualité de station varie de 10 à 16 m et l'indice de diamètre observé varie de 0 à 6 cm, 10 ans après la coupe. Le modèle s'ajuste très bien aux observations avec un pseudo-R^2 de 85 % et une erreur-type résiduelle de 14,9 m^3/ha (Tableau 4).

La figure 21 présente l'évolution des courbes de production pour une variation d'indices de diamètre et un indice de qualité de station maintenu à 14 m. A 45 ans, pour un indice de qualité de station de 14 m, et des indices de diamètre de 1, 3 et 6 cm, la durée de la révolution est raccourcie de 2, 4 et 5 ans respectivement par rapport à un indice de diamètre à 10 ans (ID_{10}) de 0 cm. La protection de la haute régénération procure une légère diminution de la révolution forestière dont l'importance est moindre que dans le cas du secteur de la rivière aux Rats. L'évolution du volume marchand des résineux, exprimée pour divers indices de qualité de station, est présentée à la figure 22. A 45 ans, avec un ID_{10} de 1 cm, on obtient un volume marchand résineux de 12 m^3/ha pour un IQS de 10 m alors que ce volume se situe près de 100 m^3/ha lorsque l'IQS s'élève à 16 m.

2.1.3 Évolution de la production à la rivière Vermillon

Dans les placettes étudiées, l'indice de qualité de station varie de 10 à 16 m et l'indice de diamètre observé varie de 0 à 6 cm, 10 ans après la coupe. Le modèle s'ajuste très bien aux observations avec un pseudo-R^2 de 86 % et une erreur-type résiduelle de 11,6 m^3/ha (Tableau 4).

La figure 23 présente l'évolution des courbes de production pour une variation d'indices de diamètre et un indice de qualité de station maintenu à 14 m. A 60 ans, pour un indice de qualité de station de 14 m, et des indices de diamètre de 1, 3 et 6 cm, la durée de la révolution est raccourcie de 9, 19 et 26 ans respectivement par rapport à un indice de diamètre de 10 ans (ID_{10}) de 0 cm. Par conséquent, la protection de la haute régénération semble donc procurer une diminution importante de la révolution forestière. L'évolution du volume marchand des résineux, calculée pour divers indices de qualité de station est présentée à la figure 24. A 60 ans, pour un ID_{10} de 1 cm, on obtient un volume marchand des résineux de 12 m^3/ha pour un IQS de 10 m alors que ce volume atteint près de 80 m^3/ha lorsque l'IQS s'élève à 16 m.

2.2 Modélisation de la production pour les sapinières

Modèle

L'équation [4] a servi à la modélisation de la production des sapinières.

2.2.1 Évolution de la production à la rivière Matane

Dans les placettes étudiées, l'indice de qualité de station varie de 10 à 18 m et l'indice de diamètre observé varie de 0 à 12 cm, 10 ans après la coupe. Le tableau 5 présente les caractéristiques statistiques de l'équation de la production des sapinières. Le modèle s'ajuste très bien aux observations avec un pseudo-R^2 de 92 % et une erreur-type résiduelle de 26,4 m^3/ha.

[4] $$VR_{10} = b_1(\exp(b_2(T + (b_4 ID_{10}))))(1 - \exp(b_2(T + (b_4 ID_{10}))))^{b_3 IQS^{b_5}}$$

VR_{10} = Volume marchand des résineux (m^3/ha)

T = Temps depuis la coupe (ans)

IQS = Indice de qualité de station (m à 50 ans à hauteur de poitrine)

ID_{10} = Indice de diamètre à 10 ans

b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 = Coefficients à estimer

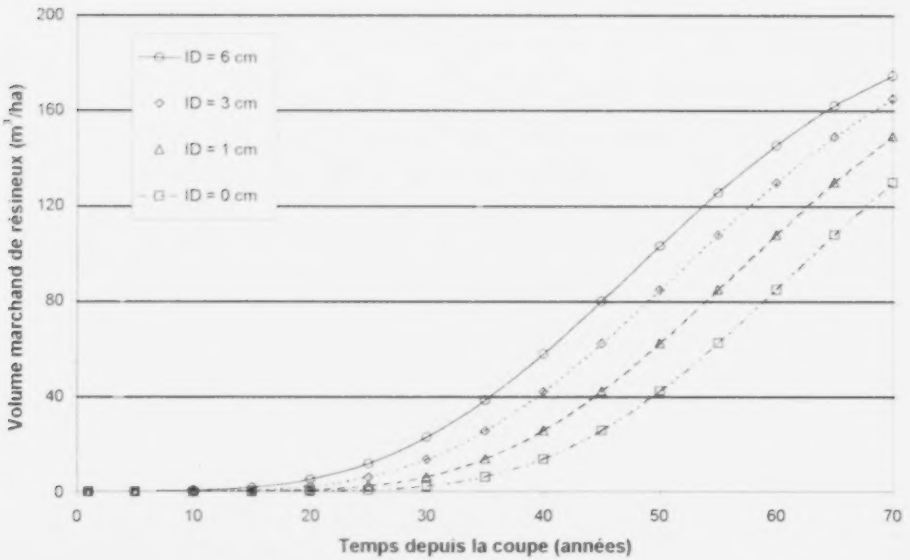


Figure 19. Évolution de la production des pessières noires de rivière aux Rats en fonction de l'indice de diamètre (IQS = 14 m à 50 ans à hauteur de poitrine).

Note : les courbes ne sont valides que pour une période maximale de 55 ans depuis la coupe.

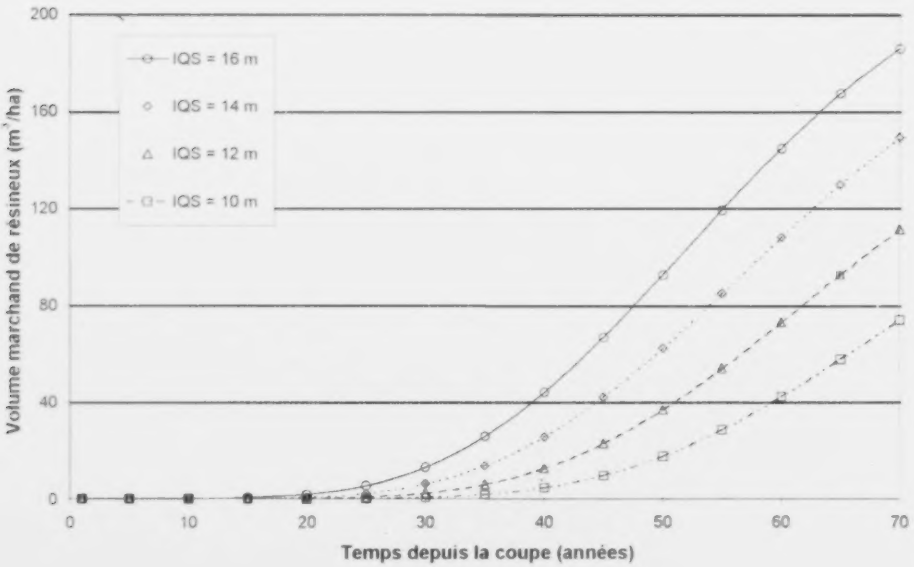


Figure 20. Évolution de la production des pessières noires de rivière aux Rats en fonction de l'indice de qualité de station (IQS à 50 ans à hauteur de poitrine, ID_{10} = 1 cm).

Note : les courbes ne sont valides que pour une période maximale de 55 ans depuis la coupe.

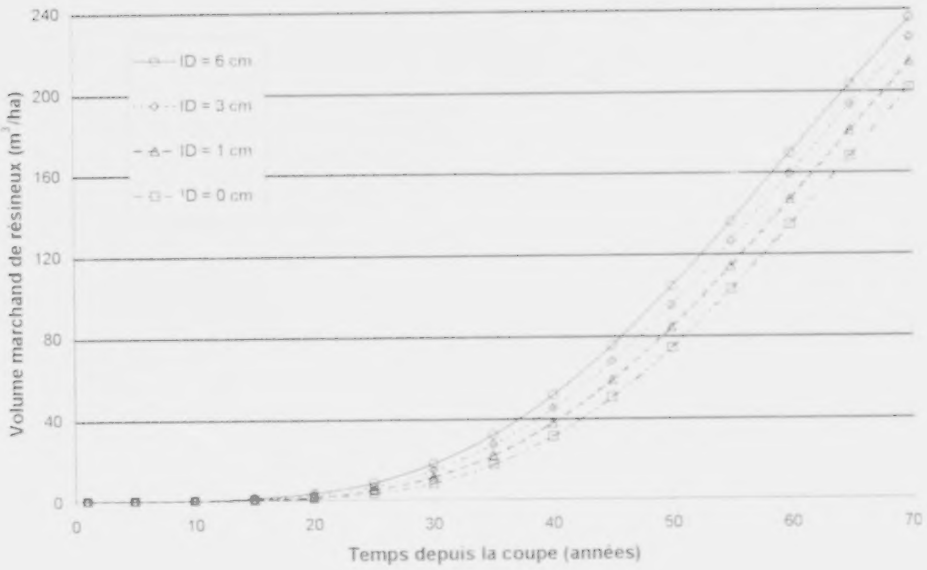


Figure 21. Évolution de la production des pessières noires de rivière Bell en fonction de l'indice de diamètre (IQS = 14 m à 50 ans à hauteur de poitrine).

Note : les courbes ne sont valides que pour une période maximale de 45 ans depuis la coupe.

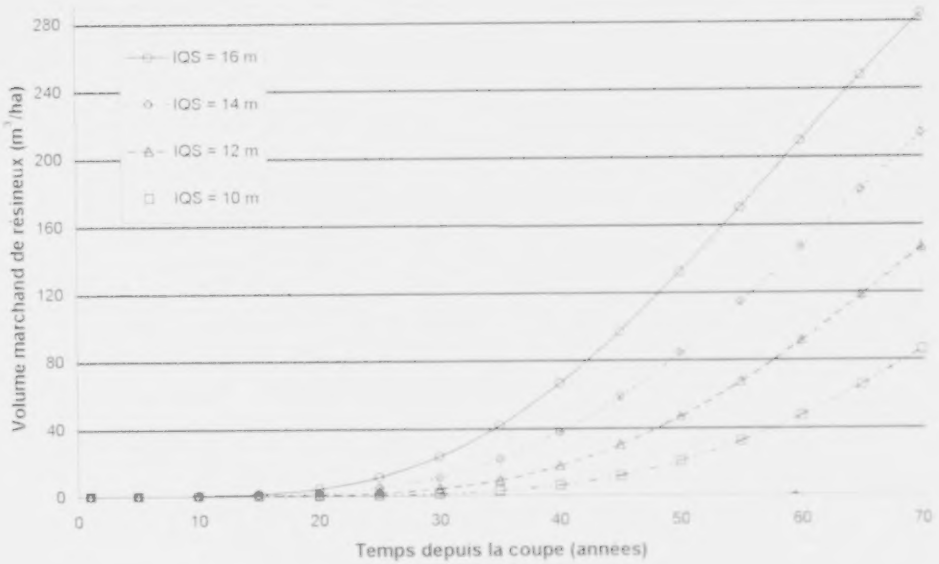


Figure 22. Évolution de la production des pessières noires de rivière Bell en fonction de l'indice de qualité de station (IQS à 50 ans à hauteur de poitrine, ID_{10} = 1 cm).

Note : les courbes ne sont valides que pour une période maximale de 45 ans depuis la coupe.

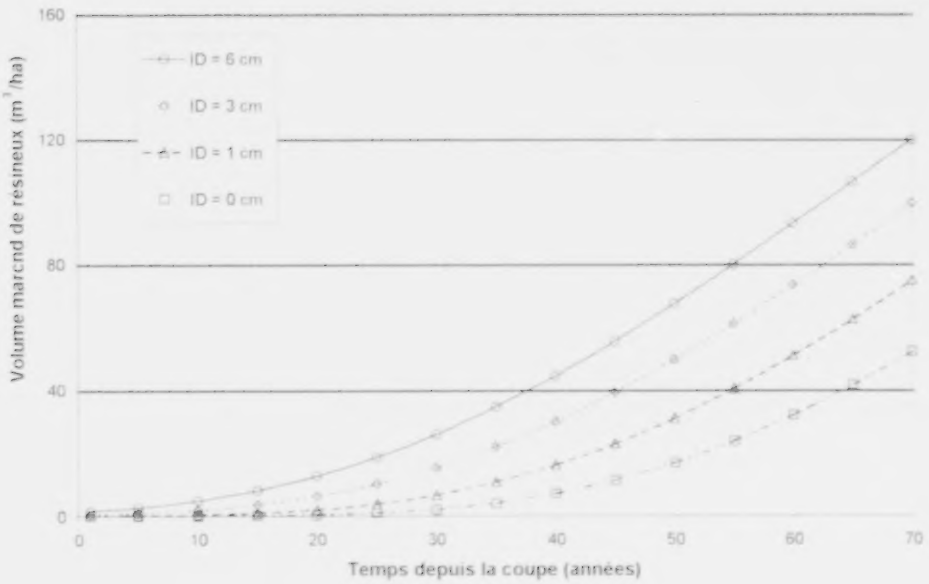


Figure 23. Évolution de la production des pessières noires de rivière Vermillon en fonction de l'indice de diamètre (IQS = 14 m à 50 ans à hauteur de poitrine).

Note : les courbes ne sont valides que pour une période maximale de 60 ans depuis la coupe.

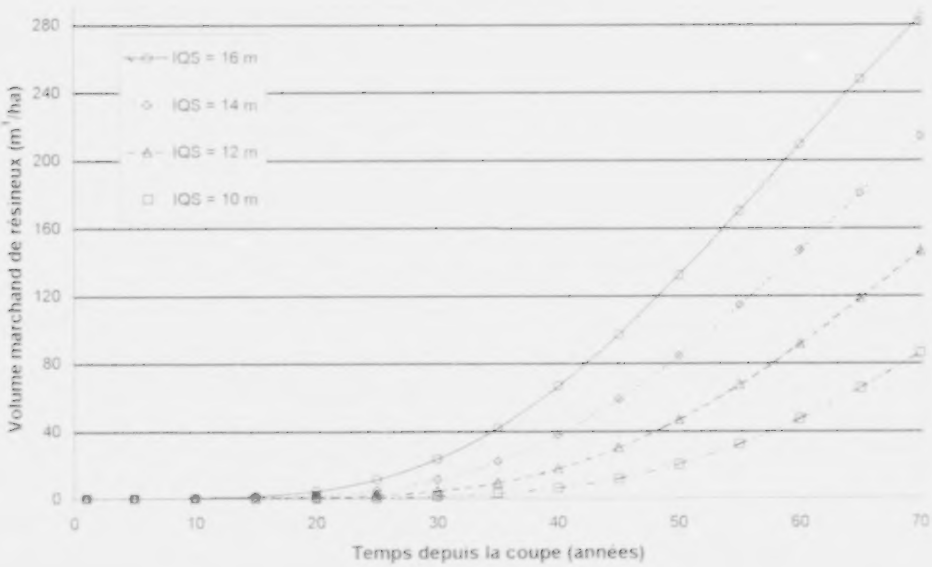


Figure 24. Évolution de la production des pessières noires de rivière Vermillon en fonction de l'indice de qualité de station (IQS à 50 ans à hauteur de poitrine, ID_{10} = 1 cm).

Note : les courbes ne sont valides que pour une période maximale de 60 ans depuis la coupe.

Tableau 5. Caractéristiques statistiques de l'équation de la production des sapinières

Coefficients et caractéristiques de l'équation						
b_1	b_2	b_3	b_4	b_5 m^3/ha R_2	SE	R^2
5 917,14	-0,0243	45,33	2,10	-0,66	26,4	91,8 %
Intervalles de confiance des coefficients (α = 5 %)						
b_1 [5 030, 6 805]	b_2 [-0,028, -0,021]	b_3 [28, 63]	b_4 [1,8, 2,4]	b_5 [-0,77, -0,54]		

La figure 25 présente l'évolution des courbes de production pour une variation d'indices de diamètre et un indice de qualité de station maintenu à 14 m. À 55 ans, pour un indice de qualité de station de 14 m, et des indices de diamètre de 6, 9 et 12 cm, la durée de la révolution est raccourcie de 6, 12 et 19 ans respectivement par rapport à un indice de diamètre de 10 ans (ID_{10}) et de 3 cm. Par conséquent, la protection de la haute régénération semble donc procurer une diminution importante de la révolution forestière. L'évolution du volume marchand résineux, engendrée par divers indices de qualité de station, est présentée à la figure 26. À 55 ans, avec un ID_{10} de 3 cm, on obtient un volume marchand des résineux de 105 m^3/ha pour un IQS de 10 m alors que ce volume atteint 240 m^3/ha lorsque l'IQS s'élève à 18 m.

2.3 Comparaison de l'évolution de la production

2.3.1 Aires d'observations des rivières aux Rats, Bell et Vermillon

La figure 27 présente l'évolution des courbes de production des pessières noires des aires d'observations des rivières aux Rats, Bell et Vermillon, pour un indice de qualité de station de 14 m et un indice de diamètre de 1 cm. Les courbes montrent une évolution différente pour la partie soumise à l'échantillonnage. À un âge de référence de 50 ans, la production à la rivière Bell atteint 84 m^3/ha alors que les secteurs des rivières aux Rats et Vermillon présentent une production plus faible avec respectivement 62 et 31 m^3/ha.

2.3.2 Aires d'observations par rapport aux classes de fertilité de Vézina et Linteau

2.3.2.1 Rivière aux Rats

La figure 28 montre l'évolution du volume marchand des résineux en regard de différentes classes de fertilité de l'épinette noire selon Vezina et Linteau (1968). Peu importe la classe de fertilité, la production évaluée par Vezina et Linteau (1968) est supérieure à celle estimée dans la présente étude. À 55 ans, pour les classes de fertilité de IV, III et II on retrouve respectivement un écart de 15, 20 et 41 m^3/ha. Par contre, l'écart semble diminuer au fur et à mesure que la fertilité de la station diminue et que la période d'observations se prolonge.

2.3.2.2 Rivière Bell

La figure 29 montre l'évolution du volume marchand des résineux en regard de différentes classes de fertilité de l'épinette noire selon Vezina et Linteau (1968). Peu importe la classe de fertilité, pour toute la période couverte par l'échantillonnage, la production évaluée par Vezina et Linteau est supérieure à celle de l'étude. À 45 ans, pour les classes de fertilité de IV, III et II on retrouve respectivement un écart de 13, 19 et 28 m^3/ha. Par contre, l'écart semble diminuer au fur et à mesure que la période d'observations se prolonge.

2.3.2.3 Rivière Vermillon

La figure 30 montre l'évolution du volume marchand des résineux en regard de différentes classes de fertilité de l'épinette noire selon Vezina et Linteau (1968). Peu importe la classe de fertilité, le volume évalué ici se situe nettement en deçà de celui retrouvé dans les tables de production de Vezina et Linteau. À 60 ans, l'écart atteint respectivement 25, 46 et 90 m^3/ha pour les classes IV, III et II et s'accentue à mesure que se prolonge la période d'observations.

2.3.2.4 Rivière Matane

La figure 31 montre l'évolution du volume marchand des résineux en regard de différentes classes de fertilité du sapin baumier selon Vezina et Linteau (1968). Peu importe la classe de fertilité, le volume évalué ici se situe en deçà de celui retrouvé dans les tables de production de Vezina et Linteau. À 55 ans, l'écart atteint respectivement 21 et 22 m^3/ha pour les classes de fertilité I et II.

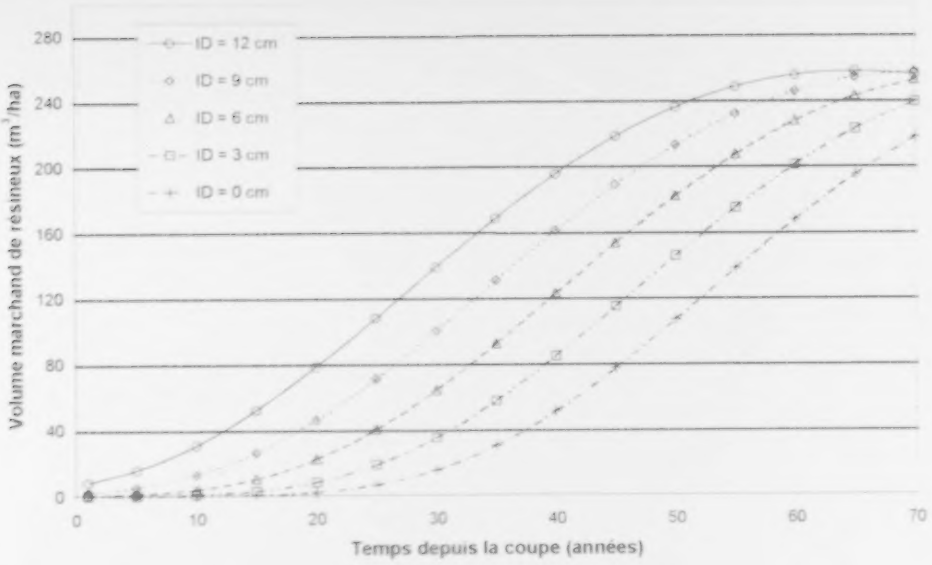


Figure 25. Évolution de la production des sapinières de rivière Matane en fonction de l'indice de diamètre (IQS = 14 m à 50 ans à hauteur de poitrine).

Note : les courbes ne sont valides que pour une période maximale de 55 ans depuis la coupe.

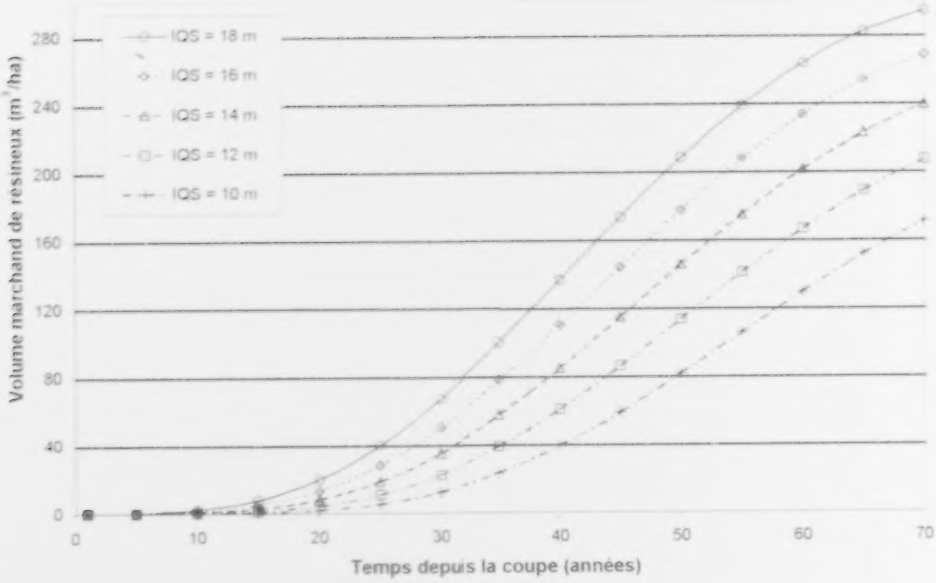


Figure 26. Évolution de la production des sapinières de rivière Matane en fonction de l'indice de qualité de station (IQS à 50 ans à hauteur de poitrine, ID_{10} = 3 cm).

Note : les courbes ne sont valides que pour une période maximale de 55 ans depuis la coupe.

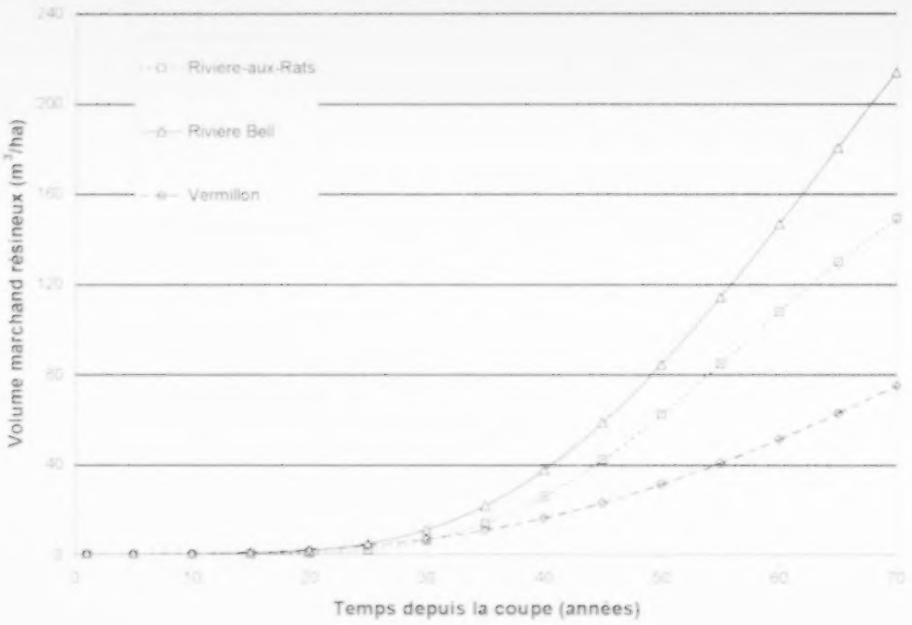


Figure 27. Évolution de la production des pessières noires des rivières aux Rats, Bell et Vermillon (IQS = 14 m à 50 ans à hauteur de poitrine et ID_{10} = 1 cm).

Note : les courbes ne sont valides que pour une période maximale de 55 ans depuis la coupe.

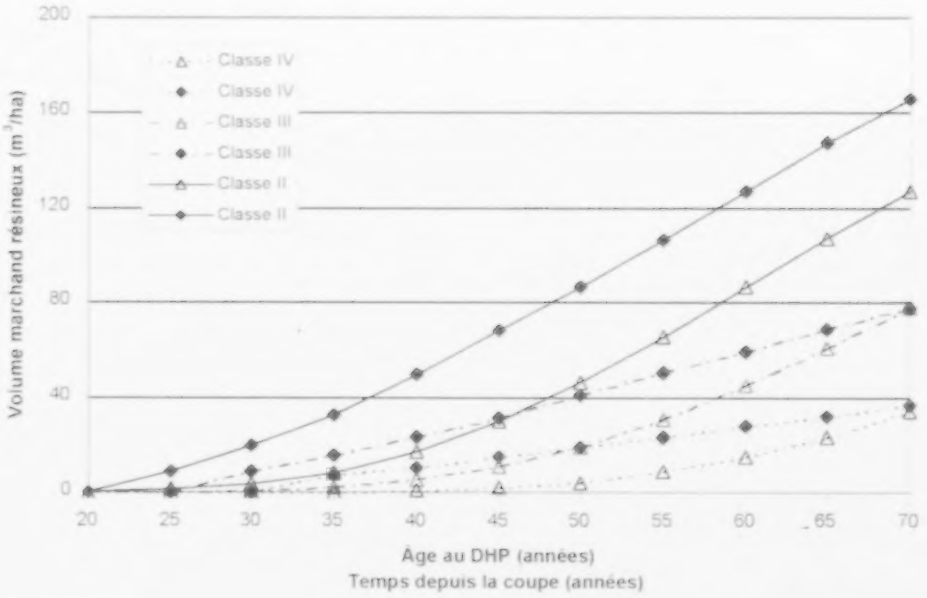


Figure 28. Évolution de la production de rivière aux Rats : classes de cette étude (Δ), classes de fertilité de l'épinette noire établies par Vézina et Linteau (◆). (ID_{10} = 1 cm).

Note : les comparaisons sont valides pour une période maximale de 55 ans depuis la coupe.

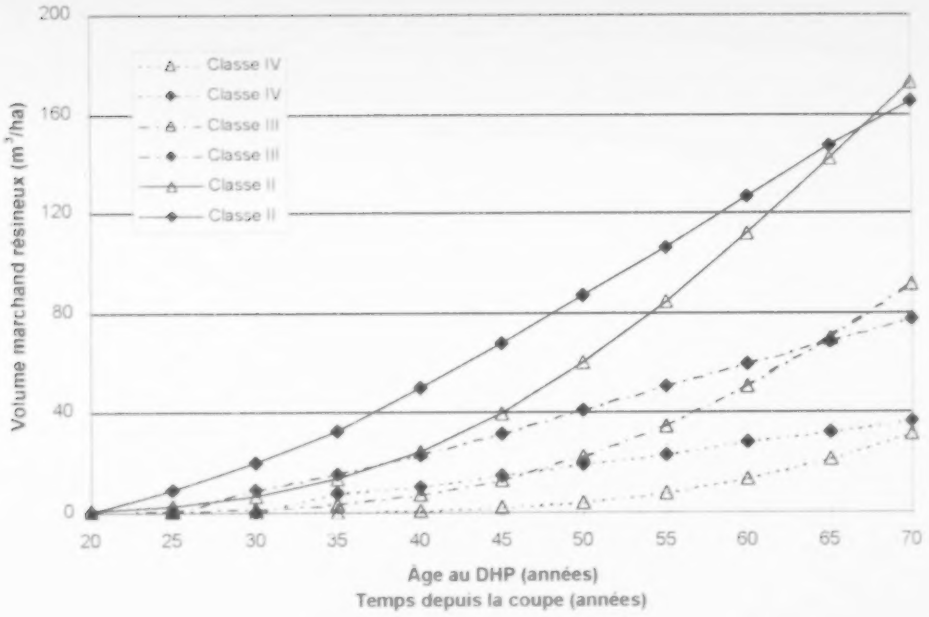


Figure 29. Évolution de la production de rivière Bell : classes de cette étude (Δ), classes de fertilité de l'épinette noire établies par VEZINA et LINTEAU (◆). (ID_{10} = 1 cm).

Note : les comparaisons sont valides pour une période maximale de 65 ans depuis la coupe.

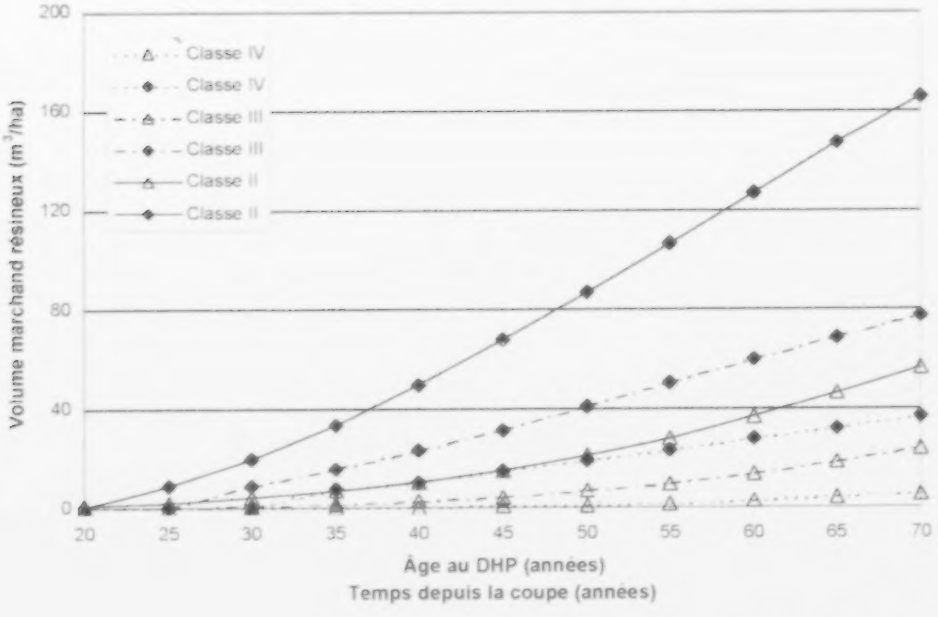


Figure 30. Évolution de la production de rivière Vermillon : classes de cette étude (Δ), classes de fertilité de l'épinette noire établies par VEZINA et LINTEAU (◆). (ID_{10} = 1 cm).

Note : les comparaisons sont valides pour une période maximale de 60 ans depuis la coupe.

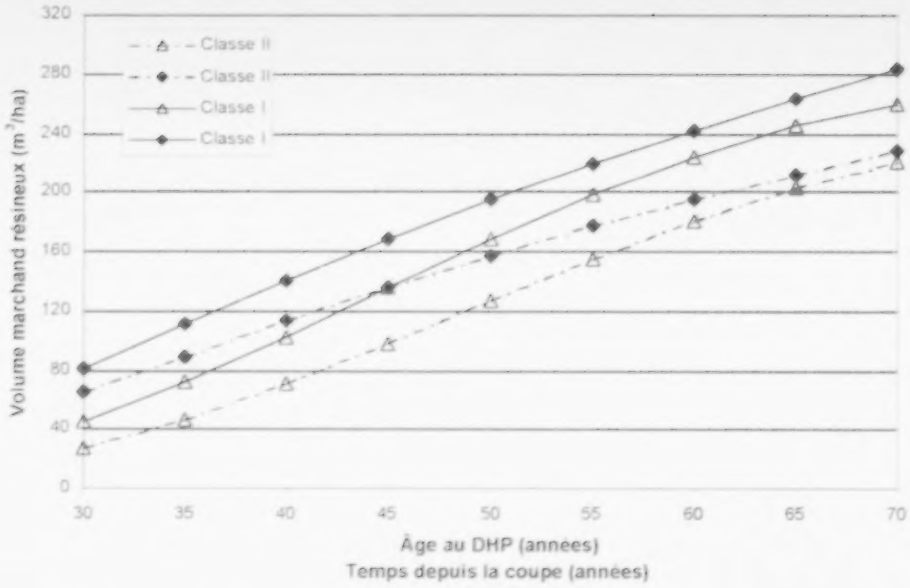


Figure 31. Évolution de la production de rivière Matane : classes de cette étude (Δ), classes de fertilité de l'épinette noire établies par VÉZINA et LINTEAU (◆). (ID_{10} = 3 cm).

Note : les comparaisons sont valides pour une période maximale de 55 ans depuis la coupe.

Chapitre trois

Discussion

3.1 Effet de la taille de la régénération sur la productivité

Les résultats démontrent clairement que la taille de la régénération après coupe, évaluée selon l'indice de diamètre des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare dix ans après la coupe, a une influence marquée sur la productivité des peuplements à long terme. En effet, l'augmentation de la taille de la régénération présente dix ans après la coupe a procuré des gains notables du volume des peuplements âgés entre 45 et 60 ans. L'apport majeur d'une régénération de forte taille à la productivité d'un peuplement a d'ailleurs déjà été signalé dans le passé par de nombreux auteurs (Lussier *et al.* 1992, Paquin et Doucet 1992, Morin et Gagnon 1992, Pothier *et al.* 1995, Riopel 1999). Dans des peuplements d'épinette noire, Pothier *et al.* 1995 ont noté des gains de production équivalant à 3 m de l'indice de fertilité pour une hauteur moyenne de la régénération de 3 m au moment de la coupe. Morin et Gagnon 1992, quant à eux, mentionnent que des pessières, ayant comme origine de hautes marcottes, produisent un volume marchand plus rapidement que les peuplements issus de feux.

Par conséquent, la présence d'individus de bonne taille établis avant la coupe permettrait de réduire sensiblement l'âge d'exploitabilité du peuplement. Pour un indice de qualité de station de 14 m à 50 ans, un indice de diamètre 10 ans après la coupe de 6 cm réduirait la période de révolution de 5 à 26 ans pour les pessières et de 12 ans pour les sapinières par rapport à un peuplement où aucune régénération n'aurait atteint encore le dhp durant cette même période. Archibald et Arnup (1993) estiment que le gain probable correspond au temps nécessaire d'un peuplement, dont l'origine est une coupe totale, pour atteindre la hauteur de la régénération préétablie protégée lors de la récolte. Ces auteurs estiment, pour les pessières de l'Ontario, que la protection de la régénération réduirait de 20 à 30 ans la période de révolution pour les classes de fertilité 2 et 3 de Plonski (1981). Afin d'évaluer la taille de la régénération, Riopel (1999) a calculé l'indice de hauteur des 1 000 plus grandes tiges à l'hectare au moment de la coupe. Il appert que l'âge d'exploitabilité des sapinières puisse être réduit de 10 et 20 ans pour des indices de hauteur respectifs de 3 et 6 m par rapport à un parterre où aucune régénération n'aurait été protégée.

Les tiges de bonne dimension établies avant la coupe et protégées lors de la récolte ont donc été en mesure de garder leur position dominante sur les semis de faible hauteur, malgré le fait que ces tiges présentent une reprise de croissance souvent plus tardive (Pothier *et al.* 1995, Ruel et Doucet 1998). Riopel (1999) a observé que la haute régénération préétablie de sapin baumier ayant survécu aux onze premières années subséquentes de la coupe bénéficie d'une très bonne capacité de survie à long terme. Ces tiges sont alors dans une meilleure position pour faire face à la compétition, tant interspécifique qu'intraspécifique, qui peut être sérieuse dans la phase juvénile du peuplement (Ruel 1992b, Archambault *et al.* 1998, Lafleche *et al.* 2000). Pour une meilleure prévision de la survie et du développement de la régénération préétablie, des caractéristiques tels le pourcentage de cime vivante et l'importance des blessures causées lors des opérations devraient être intégrées aux inventaires de régénération (Ruel et Doucet 1998).

Dans la présente étude, l'indice de diamètre est utilisé pour fournir une image de la taille et de l'abondance de la régénération après coupe. Les résultats obtenus démontrent, pour les quatre aires étudiées, qu'il existe un effet positif de cet indice sur la productivité des peuplements. Dans le cas des sapinières du dispositif de la rivière Montmorency (résultats non présentés), il a été impossible d'établir un lien statistiquement significatif avec l'indice de diamètre. Dans ce cas précis, on peut penser que la très forte densité de semis, quelques années après coupe, et l'épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette des années 1970 ont eu comme conséquence d'atténuer l'effet de l'indice de diamètre à dix ans.

3.2 Effet de l'indice de qualité de station sur la production

Bien que la taille de la régénération puisse jouer un rôle important dans l'estimation de la productivité des peuplements de seconde venue, d'autres facteurs doivent être aussi pris en compte. La fertilité du site, exprimée selon l'indice de qualité de la station (IQS), est un paramètre incontournable de la modélisation de la production d'un peuplement car elle reflète directement le potentiel de croissance des arbres sur un site donné. Les modèles qui reflètent l'évolution du volume résineux marchand des pessières noires et des sapinières fournissent les résultats attendus en regard de la gradation des indices de qualité de station.

Les stations les moins fertiles ont un âge d'exploitabilité plus élevé et produisent moins de matière ligneuse. L'effet positif de l'indice de qualité de station sur la production d'un peuplement est semblable à celui observé dans les travaux de VEZINA et LINTEAU (1968), BOLGHARI et VEZINA (1974), BOUDOUX (1978) et TREMBLAY *et al.* (1997).

3.3 Évolution de la production des pessières et des sapinières

La comparaison des trois aires d'observations de pessière révèle une production nettement inférieure pour le secteur de la rivière Vermillon. La production plus faible observée dans ce secteur pourrait en grande partie être attribuable à la mortalité de la composante de sapin baumier survenue lors de l'épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette des années 1970. En effet, plus de 25 % des placettes qui ont servi à la modélisation de la production contenaient une bonne proportion de sapin baumier lors de l'inventaire de 1971. Par contre, au dernier inventaire, l'épinette noire dominait toutes ces placettes. Cela reflète non seulement la mortalité élevée du sapin baumier durant cet intervalle de temps mais aussi une perte de volume importante. Par ailleurs, un certain nombre de placettes proviennent de peuplements de pin gris lesquels présentaient, quelques années depuis la coupe une régénération déficiente. Comme l'appréhendait HATCHER (1963), il est fort plausible que le faible niveau de régénération observé après la coupe ait été insuf-fisant pour reconstituer des peuplements productifs.

Dans l'ensemble, même si les peuplements des différentes aires ont été peu touchés par l'épidémie de TBE, les volumes estimés dans la présente étude, pour l'ensemble de la période d'échantillonnage, sous-estiment de façon variable les volumes obtenus dans les tables de VEZINA et LINTEAU (1968). Ceci peut s'expliquer par le fait que ces tables normales ont été construites à partir de peuplements bien régénérés et qu'aucune épidémie d'insectes ou perturbation quelconque n'est venue contrer la croissance des tiges. Cette situation, en peuplement naturel, représente plutôt un cas idéal et non la réalité courante. Néanmoins, à la fin de la période d'observations (70 ans), soit proche de l'âge de maturité, bon nombre de peuplements devraient fournir un volume de bois important. Il semble que les coupes réalisées s'apparentent à des coupes avec protection de la haute régénération (CPRH), et de ce fait puissent assurer la reconstitution de peuplements productifs.

Conclusion

À l'exception de la rivière Vermillon, l'évolution des pessières et sapinières, observée sur une longue période, permet de constater qu'à la suite d'une coupe, ces peuplements devraient produire un bon volume à maturité. La dimension de la régénération après coupe exerce une influence prépondérante sur la productivité à long terme des pessières et des sapinières. La présence d'une haute régénération se traduit par des gains importants de volume pour les peuplements âgés de près de 50 ans et réduit de façon notable la période de révolution, par conséquent, l'âge d'exploitabilité. Le gain sur la durée de la révolution correspondrait au temps nécessaire pour un peuplement issu d'une coupe totale d'atteindre la hauteur de la régénération préétablie protégée.

Il faudra apporter un soin particulier à la protection de la haute régénération préétablie, lors des opérations de récolte. Cette mesure de protection devrait procurer une diminution notable de la révolution forestière. L'évaluation de la qualité des tiges résiduelles, peu de temps après la coupe, s'avérerait cependant souhaitable afin d'estimer plus précisément leur survie à long terme tout en permettant de mieux prévoir l'évolution des parterres de coupe. Puisque seule la basse régénération est prise en compte lors de la coupe, il serait probablement justifié de réévaluer les calculs de possibilité de coupe en regard de la taille de la régénération observée depuis la coupe. L'intégration de cette variable lors de la modélisation de la croissance des peuplements permettrait alors une meilleure estimation de la possibilité forestière. Cependant, il serait avant tout nécessaire d'intensifier les recherches afin de quantifier plus précisément l'apport de la haute régénération protégée à la productivité à long terme de la station.

Troisième partie

Abitibi-Price

Introduction

À la fin des années 1920, la compagnie Abitibi-Price a établi sur ses concessions de nombreuses aires d'observations avant coupe qu'elle a suivies à intervalles réguliers jusqu'en 1979. La banque de données a été analysée, récemment, à l'Université Laval, dans le cadre du projet de maîtrise de M. David Morin (Morin 2001). L'étude actuelle est en fait une synthèse de ce projet de maîtrise et expose sommairement les principaux résultats obtenus. Cet ouvrage traite de la reconstitution, sur une période de 45 ans, de trois types de peuplements issus de coupes à blanc et composés respectivement d'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), d'épinette noire-sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill) et de peuplements mélangés de bouleau à papier (*Betula papiryfera* Marsh.) et de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) (Vézina et Falardeau 1988).

Cette étude s'attarde à deux objectifs spécifiques :

1) relier la dynamique forestière des peuplements après coupe à des variables de station et de peuplement;

2) évaluer l'importance de la taille et du coefficient de distribution de la régénération dans la production des peuplements de seconde venue.

Chapitre premier

Méthodes

1.1 Territoire à l'étude

Les placettes étudiées sont distribuées sur de vastes territoires localisés au nord et au sud du lac Saint-Jean (Figure 32). Elles proviennent du réseau constitué à la fin des années 1920 par la Compagnie Price limitée, aujourd'hui Abitibi-Consolidated inc. L'ensemble du dispositif fut abandonné en 1979 en raison de la mise en place du nouveau mode de tenure. Le territoire à l'étude a fait l'objet de coupes à blanc durant les années 1930 et 1940. Les méthodes de coupe ont évolué au rythme des années, d'abord à la hache, puis à la scie mécanique, tout comme celles du débardage, passant du cheval au J-5 et exceptionnellement au débardeur sur roues (VÉZINA et FALARDEAU 1988). L'impact des procédés de récolte n'est pas évalué dans la présente étude mais a probablement influencé, en partie, la variabilité des conditions retrouvées après la coupe. Un total de 139 placettes semi-permanentes, d'une superficie de 0,2 ha chacune, ont été conservées pour l'étude. La majorité de celles-ci ont été établies durant l'année précédant la coupe tandis que quelques-unes l'ont été durant la décennie suivante. Pendant près d'un demi-siècle, des mesures ont été effectuées à environ tous les cinq ans par le concessionnaire (VÉZINA et FALARDEAU 1988).

Le territoire à l'étude se situe essentiellement dans le domaine bioclimacique de la sapinière à bouleau blanc. La température moyenne annuelle y varie entre 0 et 1° C. La dynamique forestière est influencée, de façon naturelle, notamment par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE), mais aussi par les feux (SAUCIER *et al.* 1998). Les dépôts de surfaces glaciaires dominent et se retrouvent généralement sous forme de tills indifférenciés (ROBITAILLE et SAUCIER 1998). Dans ce domaine, les placettes étudiées se répartissent dans trois sous-régions écologiques, chacune présentant des compositions et des dynamiques forestières similaires sur des stations mésiques de même qu'une répartition semblable des types écologiques dans le paysage (SAUCIER *et al.* 1998). Il s'agit des sous-régions écologiques 5d-T: Collines du lac Onatchiway, 5e-T: Monts du lac des Martres et 5f-S: Hautes collines du lac Poulin de Courval (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC 1999a).

Un peu plus d'une vingtaine de placettes sont localisées dans la sous-région écologique 6hT: Collines du lac Péribonka, du domaine de la pessière à mousses. L'épinette noire y est dominante dans presque tous les sites alors que le sapin baumier n'occupe que les versants de certaines collines (SAUCIER *et al.* 1998). La saison de croissance est très courte et le climat est de type subpolaire subhumide, continental, dont la température annuelle moyenne varie entre –2,5 et 0° C (ROBITAILLE et SAUCIER 1998).

1.2 Type de peuplement avant coupe

Quoique bon nombre de placettes furent établies avant coupe, le type de peuplement avant coupe (TP) a été identifié selon les évaluations visuelles faites, sur le terrain, lors des inventaires et non selon la compilation de la surface terrière avant coupe. Les différentes appellations ont été regroupées en trois types de peuplements. Ces appellations correspondent à celles utilisées par VÉZINA et FALARDEAU (1988) soit : 1) les peuplements d'épinette-sapin (TP_{ES}), 2) les peuplements mélangés (TP_{M}) et 3) les peuplements d'épinette (TP_{E}). Les espèces qui composent majoritairement ces peuplements sont le sapin baumier, l'épinette noire et le bouleau à papier. Toutes les épinettes ont été recensées sous une seule dénomination. Les épinettes blanches (*Picea glauca* [Moench] Voss), fort probablement présentes dans certaines placettes, n'ont pas pu être différenciées des épinettes noires. SARRAZIN (1991) a cependant observé, dans une autre étude utilisant une partie des placettes de cette étude, que la majorité des épinettes étaient bien des épinettes noires. Le peuplier faux-tremble, le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et le mélèze laricin (*Larix laricina* [Du Roi] Koch.) ont rarement été recensés et n'ont que peu d'influence sur le volume des peuplements à l'étude.

1.3 Classe de station

Afin de comparer la production entre les placettes sur une base égale, on se réfère généralement à la qualité de station qui est l'aptitude des terres à produire du bois marchand (BÉLANGER *et al.* 1995). Étant donné l'absence d'observations hauteur-âge dans les inventaires et le peu de consistance et d'homogénéité des relevés écologiques de la végétation et du sol, la photo-interprétation s'est avérée le meilleur moyen de déterminer les caractéristiques de station de chacune des placettes. L'opération consiste à qualifier la classe de station à partir du dépôt de surface, de la pente, de la position topographique et du drainage. On associe alors une classe de station à un type géomorphologique défini à l'aide de photographies aériennes 1 : 15 000 du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Les caractéristiques photo-interprétées ont été décrites selon la nomenclature de SAUCIER *et al.* (1994).

Etude Abitibi-Price

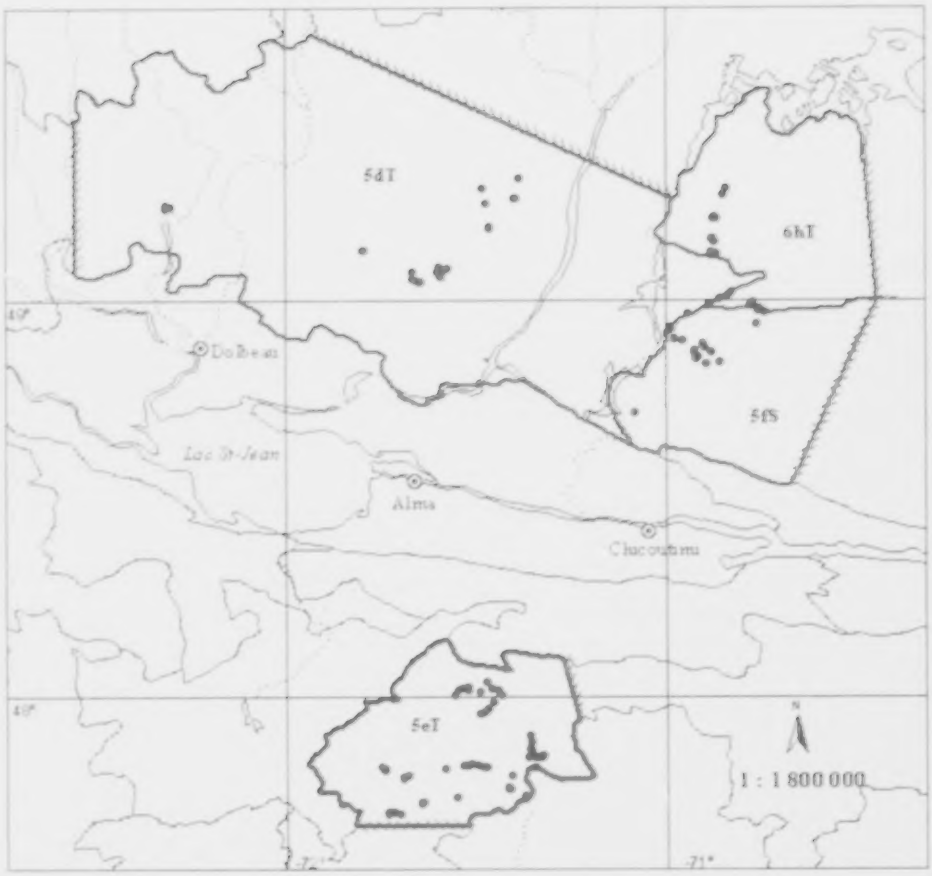


Figure 32. Localisation de l'aire à l'étude

Tableau 6. Classe de station

Classe de station		Stations forestières	Types géomorphologiques	Nombre de placettes
Excellente	+I	Stations mésiques riches	1a3*	11
Très bonne	I	Stations mésiques	1a2-3	45
Modérée	II	Stations mésiques minces	1aM2; 1aY2-3;	
		Stations mésiques à texture grossière	2a2-3; 2be3; 4ga3;	30
		Stations humides	1a4; 1aY4 24	20
Faible	III	Stations très humides	1a5; 3a5; 7*6	8
		Stations très minces humides	7t5-6	1
			Total :	139

L'étude de BÉLANGER *et al.* (1995) définit quatre classes de station basées sur le potentiel de croissance du sapin baumier et les types écologiques. Les classes de station retenues dans la présente étude se décrivent de façon similaire à celles de BÉLANGER *et al.* (1995). La classe « excellente (+1) » regroupe les stations mésiques qui bénéficient d'un drainage oblique. La classe « très bonne (I) » regroupe les autres stations mésiques. La classe « modérée (II) » englobe la plupart des stations qui posent des limites modérées à la croissance du sapin. La classe « faible (III) » regroupe les stations qui imposent des limites graves à la croissance du sapin. Les classes de station sont détaillées selon la station forestière et selon le type géomorphologique dans le tableau 6. On y retrouve également le nombre de placettes dans chacune des stations forestières.

1.4 Dynamique des peuplements

La dynamique des peuplements a été évaluée selon le patron de croissance. Ce dernier est une variable qui intègre grossièrement l'évolution de la composition des peuplements. Deux tendances générales se dessinent de l'observation de la proportion de la surface terrière en épinette, en sapin et en bouleau vers la 5e, 15e, 25e, 35e et 45e année depuis la coupe. Les changements de composition, lorsqu'ils se produisent, cheminent généralement comme suit : 1) à l'échelle du peuplement, la dominance du feuillu, au début de la période de révolution se modifie pour devenir par la suite une dominance de résineux et 2) à l'échelle de la partie résineuse, la dominance du sapin se transforme vers celle de l'épinette. Les patrons de croissance reproduisent ces deux tendances ou regroupent les peuplements dont les changements de composition sont contraires aux tendances décrites précédemment. Selon les besoins, la variable « patron de croissance » est identifiée par deux ou trois caractères. La première lettre indique la composition du peuplement durant les premières périodes subséquentes à la coupe (F pour feuillus, M pour mélangés et R pour résineux). Pour les peuplements feuillus et mélangés, FR et MR indiquent que ces peuplements ont évolué en peuplements résineux. Pour les peuplements résineux dont la composition demeure inchangée, les deuxième et troisième caractères décrivent l'évolution de la partie résineuse de ces placettes (S pour sapin, et E pour épinette). Ainsi, RSS est une placette dominée par le sapin tout au long de la période d'observations alors que REE reflète la dominance de l'épinette pour la même période. RSE est une placette dominée par le sapin laquelle s'est transformée en peuplement dominé par l'épinette. Les patrons AUF et AUR rassemblent les placettes dont l'évolution s'est effectuée autrement. Ces patrons s'appliquent respectivement aux peuplements dont les épisodes se caractérisent par la dominance des feuillus et à ceux dont la dominance d'épinette s'estompe au profit du sapin. Les quelques placettes pour lesquelles la période d'observations était trop courte pour leur attribuer un patron de croissance ont été écartées de l'analyse.

Afin d'associer les patrons de croissance observés aux variables de station et de peuplement, l'analyse factorielle des correspondances (AFC) a été utilisée. Par cette méthode d'analyse, une projection sur un plan d'un espace multidimensionnel permet d'examiner et d'associer toutes les catégories recensées dans cette étude. Les variables du peuplement retenues pour cette analyse sont le type de peuplement, tel qu'observé avant coupe, l'indice de diamètre à cinq ans et les coefficients de distribution de la régénération du bouleau, du sapin et de l'épinette. La classe de station est la variable choisie pour décrire la qualité de station. Pour cette analyse toutes les mesures effectuées sur une base continue ont dû être, *a priori*, regroupées en classes. Les indices de diamètre sont regroupés en classe de 2 cm alors que les coefficients de distribution sont divisés en quatre groupes : de 0 à 40 %, de 40 à 60 %, de 60 à 80 % et de 80 à 100 %.

1.4.1 Échantillonnage de la végétation

Les caractéristiques du peuplement proviennent des relevés d'inventaire de chacune des placettes de 50,3 m sur 40,2 m, soit d'une superficie de 0,2 ha. Le dénombrement des gaules et des tiges marchandes s'est effectué selon l'espèce et selon des intervalles de classes au pouce. Les gaules ont un diamètre à hauteur de poitrine (dhp) qui varie entre 1 et 9 cm. La régénération a été recensée selon l'espèce, dans vingt sous-parcelles de 6,3 m^2 à l'intérieur de chaque placette. Son recensement s'est fait selon sept classes de hauteur : 0 à 15 cm, 15 à 30 cm, 30 à 60 cm, 60 à 90 cm, 90 à 120 cm, 120 à 150 cm, 150 cm et plus et pour un dhp inférieur à 1 cm. Le dénombrement de la régénération a permis d'identifier l'espèce et de classer selon leur hauteur les marcottes et les semis présents. Le coefficient de distribution de la régénération, compilé selon les groupements d'essences (feuillus et résineux) et selon les essences (bouleau, sapin et épinette), a été retenu pour décrire la régénération présente cinq ans après la coupe. Afin de mieux refléter le potentiel de production de la régénération, le coefficient de distribution a été calculé en excluant les tiges d'une hauteur inférieure à 15 cm.

L'indice de diamètre à cinq ans des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare a été utilisé dans cette étude pour décrire la haute régénération. Cet indice (équation 5) représente le diamètre quadratique des 1 000 plus grosses tiges. Le nombre mille est toujours utilisé au dénominateur afin que l'indice reflète à la fois la grosseur et la quantité des tiges cinq ans après la coupe.

Pour l'ensemble de l'étude, cinq indices de diamètre ont été calculés, deux sur la base des regroupements d'essences (feuillus et résineux) et les trois autres sur la base des essences (bouleau, sapin et épinette).

[5] $$ID_5 = \sqrt{\frac{\sum n_i d_i^2}{1000}}$$

où ID_5 = Indice de diamètre cinq ans depuis la coupe

n_i = Nombre de tiges de la classe i

d_i = Classe i du diamètre à hauteur de poitrine

[6] $$CDR = b_0 \ln\left(\frac{b_1}{T}\right)$$

où CDR = Coefficient de distribution de la régénération

T = Nombre d'années après coupe

b_0, b_1 = Coefficients à estimer

[7] $$ID = b_0 + b_1 T + \frac{b_2}{T}$$

où ID = Indice de diamètre

T = Nombre d'années après coupe

b_0, b_1, b_2 = Coefficients à estimer

[8] $$H_{tot} = 1,3 + \left(\frac{dhp^2}{(b_1 + b_2 dhp)^2}\right)$$

où H_{tot} = Hauteur totale (m)

dhp = Diamètre à hauteur de poitrine (cm)

1.5 Estimation des caractéristiques du peuplement cinq ans après la coupe

Le délai retenu pour l'évaluation des caractéristiques de la régénération est de cinq ans après la coupe, ce qui correspond à la phase juvénile du peuplement. Ce délai concilie la dynamique des peuplements de succession d'une perturbation, les objectifs propres à la prévision et les données disponibles. Cette période écarte les premières années subséquentes à la coupe qui sont caractérisées, de façon générale, par de fortes variations du nombre de tiges et du coefficient de distribution de la régénération (Hatcher 1960, Frisque et Vézina 1977, Frisque *et al.* 1978, Vézina et Falardeau 1988, Ruel *et al.* 1998).

Pour 50 des 139 placettes à l'étude, il a été possible d'utiliser directement les coefficients de distribution (CDR) de la régénération et les indices de diamètre (ID) calculés selon les dénombrements de cinq ans après la coupe. L'absence de mesure directe a nécessité l'interpolation linéaire des CDR et des ID en faisant appel aux mesures qui couvraient la période de référence. Lorsque ces deux approches ne pouvaient s'appliquer, l'interpolation se faisait à partir d'un faisceau de courbes construit au moyen de l'ensemble des données. La construction d'un faisceau de courbes est inspirée des travaux de Pothier et Savard (1998). Tous les couples « années après la coupe – CDR » disponibles ont servi dans cette démarche. Une courbe de regression a été calculée pour l'ensemble des couples. La procédure NLIN (SAS Institute inc. 1989) a servi à l'ajustement du modèle non linéaire (équation 6) pour décrire l'évolution des différents CDR.

Les données du CDR sont d'abord séparées en deux, puis chacune de ces parties subdivisées à nouveau en deux, et en quatre. À partir de ces courbes, il est possible d'interpoler un CDR cinq ans depuis la coupe (CDR_5) et ce sans biais. Ainsi, les CDR de 50 placettes ont été évalués pour un horizon de cinq ans. Par contre, 44 d'entre eux ont été interpolés sur un horizon de deux ans et moins.

L'estimation des indices de diamètre cinq ans depuis la coupe (ID_5) de neuf placettes s'est faite selon la même démarche pour tous les couples « années après coupe – ID ». Toutefois, pour sept d'entre elles, l'horizon retenu était de deux ans et moins. Pour ce faire, la procédure REG a servi à l'ajustement d'un modèle polynomial (équation 7) (SAS Institute inc. 1989).

1.6 Relation hauteur-diamètre

Afin d'attribuer une hauteur à chacune des tiges dénombrées, des relations hauteur-diamètre ont été calculées à l'aide des arbres-échantillons provenant des trois inventaires décennaux du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Les arbres-échantillons sélectionnés proviennent des placettes dont la localisation géographique se situait à proximité de celles à l'étude. De même, pour que les arbres fassent partie de l'échantillon, il devait y avoir une concordance entre la sous-région écologique, la dénomination du peuplement et la classe d'âge. Un modèle non linéaire de la hauteur totale en fonction du diamètre à hauteur de poitrine (dhp) (Bégin et Raulier 1995) a été construit, pour chaque espèce (équation 8).

Pour le sapin et l'épinette, il y a eu fractionnement de l'échantillon selon la classe d'âge et la sous-région écologique. Pour le bouleau, le fractionnement de l'échantillon s'est fait selon la classe d'âge seulement. Les variables ayant le plus d'influence sur la hauteur sont, dans l'ordre, le diamètre, la classe d'âge, la sous-région écologique et ensuite le type de peuplement. Les arbres-échantillons des peuplements de moins de 40 ans ont servi au calcul de la relation H-D pour la première classe d'âge. Le peu d'arbres-échantillons et la faible variabilité de leurs dimensions dans les peuplements de moins de 20 ans ne permettaient pas d'obtenir une relation adéquate pour les placettes étudiées.

1.7 Calcul du volume marchand

Le tarif de cubage à deux entrées couramment utilisé au Québec a servi au calcul des volumes marchands (Perron 1985). Le dénombrement des tiges marchandes et la hauteur des tiges, en provenance d'une relation hauteur-diamètre, ont servi au calcul du volume marchand brut. Les faibles volumes calculés pour le pin gris et le mélèze nous ont obligés à les regrouper avec le volume de l'épinette. Il en fut de même pour les faibles volumes calculés pour le peuplier faux-tremble lesquels ont été regroupés avec ceux du bouleau à papier.

1.8 Modélisation de la production

L'analyse de la production forestière s'est effectuée selon deux échelles :

- à l'échelle du peuplement, il y a eu une modélisation linéaire du volume de résineux dans le temps en fonction des variables qui exerçaient le plus d'influence sur la production résineuse;
- à l'échelle des espèces, il y a eu une modélisation linéaire du volume de l'espèce dans le temps en fonction des variables qui exerçaient le plus d'influence sur la production de l'espèce.

À l'échelle du peuplement, le modèle adopté pour décrire l'évolution de la production résineuse dans le temps est une équation polynomiale simple qui fait interagir le temps, les variables de station et celles du peuplement. La régression se fait selon les données des placettes des inventaires effectués au-delà de 15 ans après la coupe; dans certains cas, ce délai se prolonge jusqu'à 45 ans. Comme le traitement, à l'origine, est la coupe à blanc, il est justifié de poser comme hypothèse qu'au temps zéro la sous-région écologique, la classe de qualité de station, le type de peuplement avant coupe, et le coefficient de distribution de la régénération cinq ans après la coupe, n'aient pas d'influence sur le volume marchand. Ainsi

chacune des variables du modèle interagit dans le temps. En contrepartie, l'indice de diamètre, cinq ans depuis la coupe, peut expliquer une partie de la variation du volume observée immédiatement après la coupe.

Afin de diminuer le nombre d'interactions et d'évaluer plus facilement l'influence de chacune des variables, l'échantillon est analysé selon le type de peuplement avant coupe quand cette variable peut modifier la production. Dans cette situation, l'équation 9 est réécrite selon l'équation 10 et le type de peuplement avant coupe n'est plus une variable explicative.

[9] $V_{m\,x} = fn\,(T, T^2, SRÉ, CQS, TP, ID_{5\,x}, CDR_{5\,x})$

[10] $V_{m\,x\,TP} = fn\,(T, T^2, SRÉ, CQS, ID_{5\,x}, CDR_{5\,x})$

où V_m = Volume marchand brut (m^3/ha)

x = Groupe d'essences (résineux) ou essence (bouleau, épinette ou sapin)

T = Nombre d'années après coupe

SRÉ = Sous-région écologique

CQS = Classe de qualité de station

TP = Type de peuplement avant coupe

ID_5 = Indice de diamètre cinq ans après la coupe

CDR_5 = Coefficient de distribution de la régénération cinq ans après la coupe

Chapitre deux

Résultats

2.1 Dynamique des peuplements en fonction des caractéristiques de station et du peuplement

2.1.1 Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Les résultats de l'analyse des correspondances multiples sont présentés dans un plan, en deux dimensions, lequel explique 21,72 % de la variation totale. Il s'agit d'une évaluation conservatrice qui, malgré un faible pourcentage, fait ressortir l'essentiel de l'information contenue dans les données (LEBART *et al.* 1986). Quoiqu'elle renseigne sur le pouvoir d'association entre les catégories, la distance entre les points ne s'interprète pas directement par l'analyse de correspondances multiples (SAS INSTITUTE INC. 1989).

2.1.2 Patrons de croissance, types de peuplement et classes de station

La figure 33 illustre l'AFC, laquelle met en évidence les patrons de croissance avec le type de peuplement avant coupe et la classe de station. Le graphique montre que les patrons de croissance se répartissent relativement bien dans le plan. Les patrons autres feuillus (AUF) et feuillus-résineux (FR) se situent dans le quadrant supérieur gauche alors que mélangés-résineux (MR) et résineux-sapin-sapin (RSS) se retrouvent dans le quadrant supérieur droit. Le patron résineux-épinette-épinette (REE) est seul centré au bas du plan alors que résineux-sapin-épinette (RSE) et autres résineux (AUR) sont à mi-chemin entre RSS et REE. Les types de peuplement avant coupe (TP) se distribuent le long de l'axe vertical. Les types de peuplement avant coupe mélangé (TP_m) et épinette-sapin (TP_{es}), de par leur position dans la partie supérieure du plan, sont fortement associés l'un à l'autre. À l'opposé, le type de peuplement avant coupe épinette (TP_e) se retrouve au bas du plan où il est fortement associé au patron de croissance REE. On observe donc que les anciens peuplements d'épinette se reconstituent fréquemment en peuplements dominés par l'épinette. À eux seuls, TP_m et TP_{es} semblent moins discriminants dans l'évolution de la composition mais ces types de peuplement se distinguent fortement d'un peuplement de retour dominé par l'épinette (REE).

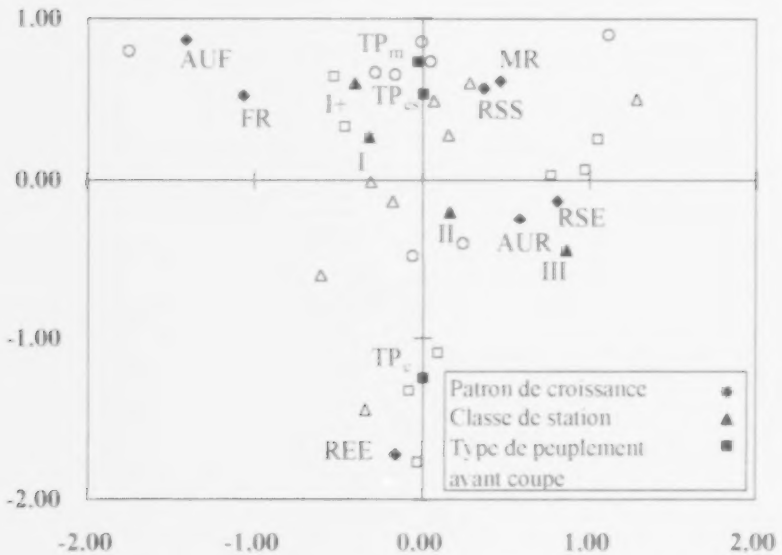


Figure 33. Relation entre les patrons de croissance, les classes de station et les types de peuplement avant coupe, selon l'analyse factorielle des correspondances.

Les classes de station (CS) se situent sur une quasi-droite orientée à environ 45° des deux axes principaux. Les stations très bonnes (I) et modérées (II), de par leurs positions rapprochées de l'origine, démontrent le peu d'influence qu'elles exercent sur les autres catégories. Les stations excellentes (+I) sont plus souvent associées aux patrons de croissances FR et AUF qu'à tout autre patron. Les stations de faible qualité (III) sont associées aux patrons de croissance RSE et AUR.

2.1.3 Patrons de croissance et indices de diamètre

La figure 34 met en évidence la relation entre les patrons de croissance et les différentes catégories de l'indice de diamètre selon l'espèce ($ID_{5,bouleau}$, $ID_{5,épinette}$, $ID_{5,sapin}$). Les traits pointillés sont utilisés ici pour relier les catégories d'une même variable. On observe que plus les $ID_{5,bouleau}$ et $ID_{5,sapin}$ s'approchent du coin supérieur droit du plan, plus leur valeur respective augmente. Par ailleurs, la valeur de $ID_{5,épinette}$ la plus élevée se retrouve au bas du plan. Les peuplements pourvus d'un $ID_{5,épinette}$ élevé se sont reconstitués selon REE, en peuplements dominés par l'épinette. En dépit de forts $ID_{5,bouleau}$, les peuplements pourvus de forts $ID_{5,sapin}$ semblent s'être reconstitués en peuplements dominés par le sapin (RSS), avec parfois une composante de feuillus importante non dominante (MR). Par contre, les peuplements dont aucun des ID n'était élevé, et qui se retrouvent dans le quadrant supérieur gauche, se sont reconstitués avec une composante de feuillus dominante en début de période (FR) ou plus tard (AUF).

2.1.4 Patrons de croissance et coefficients de distribution de la régénération

Le coefficient de distribution de la régénération se répartit dans le plan de façon similaire à l'indice de diamètre (Figure 35). Sa valeur augmente vers le haut pour le bouleau ($CDR_{5,bouleau}$) et le sapin ($CDR_{5,sapin}$), alors qu'elle augmente vers le bas du plan pour l'épinette ($CDR_{5,épinette}$). Un $CDR_{5,sapin}$ de 80 à 100 % est fortement associé aux patrons de croissance MR et RSS de même qu'un $CDR_{5,épinette}$ équivalent est fortement associé au REE. La différence notable est que les $CDR_{5,bouleau}$ élevés sont positionnés dans la partie supérieure gauche du plan. C'est dans ce quadrant que tous les indices de diamètre sont faibles et que les peuplements sont caractérisés par une composante de feuillus dominante à un moment ou à un autre (FR et AUF).

2.1.5 Patrons de croissance : ensemble des variables

L'AFC fait ressortir trois groupes de catégories et associe leurs caractéristiques de station et de peuplement aux patrons de croissance observés. La première catégorie regroupe les peuplements d'épinette-sapin ou mélangés avant coupe, sur les stations riches, de $ID_{5,épinette}$ faibles et d'un $CDR_{5,bouleau}$ élevé. Cette catégorie est fortement associée aux patrons de croissance AUF et FR. La seconde catégorie correspond aux peuplements d'épinette-sapin ou mélangés avant coupe, pourvus de $ID_{5,sapin}$ et $ID_{5,bouleau}$ élevés, de même qu'un fort $CDR_{5,sapin}$. Cette catégorie est associée aux patrons de croissance MR et RSS. La troisième catégorie associe très fortement REE aux peuplements d'épinette, où des $ID_{5,épinette}$ et des $CDR_{5,épinette}$ élevés se retrouvent généralement sur stations de moindre qualité.

2.2 Modélisation de la production

2.2.1 Modélisation de la production à l'échelle du peuplement

La modélisation de la production résineuse indique que les variables ayant ici le plus d'influence sont : le temps, le type de peuplement avant coupe (TP) ainsi que l'indice de diamètre cinq ans après la coupe des 1 000 plus grosses tiges résineuses à l'hectare ($ID_{5,résineux}$) (Tableau 7). Dans ce modèle, les sous-régions écologiques (SRÉ) servent à titre de blocs et s'avèrent efficaces pour expliquer la variation de la production résineuse ($p < 0,0001$). Par contre, le coefficient de distribution de la régénération résineuse cinq ans après la coupe ($CDR_{5,résineux}$) ne contribue pas à expliquer significativement la variation de la production résineuse une fois l'indice de diamètre pris en compte. Le modèle, construit sur la base de l'équation 5, explique 84,1 % de la variation totale de la production résineuse. La forte influence des interactions entre le type de peuplement, à la fois avec le temps et avec l'indice de diamètre des résineux, justifie l'utilisation d'un modèle basé sur l'équation 6. Ainsi, la production est analysée de façon séparée dans chacun des types afin de permettre un meilleur ajustement de la forme du modèle et pour simplifier l'interprétation des interactions entre les variables explicatives.

2.2.1.1 Production de résineux dans le type épinette-sapin

Un modèle qui explique 85,6 % de la variation du volume de résineux et dont l'erreur-type résiduelle est de 10,1 m^3/ha a servi au calcul de la production de résineux dans le type épinette-sapin (Tableau 8). Ce modèle repose sur 203 observations faites dans 73 placettes. La figure 36 montre l'effet important de l'$ID_{5,résineux}$ sur le volume marchand résineux. Pour une même production, une diminution de la révolution d'environ trois ans est envisageable pour chaque augmentation de 2 cm de l'$ID_{5,résineux}$.

2.2.1.2 Production de résineux dans le type mélangé

L'analyse de la production de résineux dans le type de peuplement mélangé avant coupe est basée sur les 41 observations de 11 placettes. L'ensemble des placettes appartient à la sous-région écologique 5eT. L'utilisation d'un modèle similaire à celui utilisé précédemment n'explique que 55,1 % de la variation totale de la production résineuse pour ce type de peuplement. L'erreur-type résiduelle afférente au modèle est de 11,2 m^3/ha (Tableau 9). L'indice de diamètre ($ID_{5,résineux}$) ne contribue pas à expliquer de façon significative la variation de la production résineuse ($p : ID_{5,résineux} = 0,6717$; $T * ID_{5,résineux} = 0,9951$).

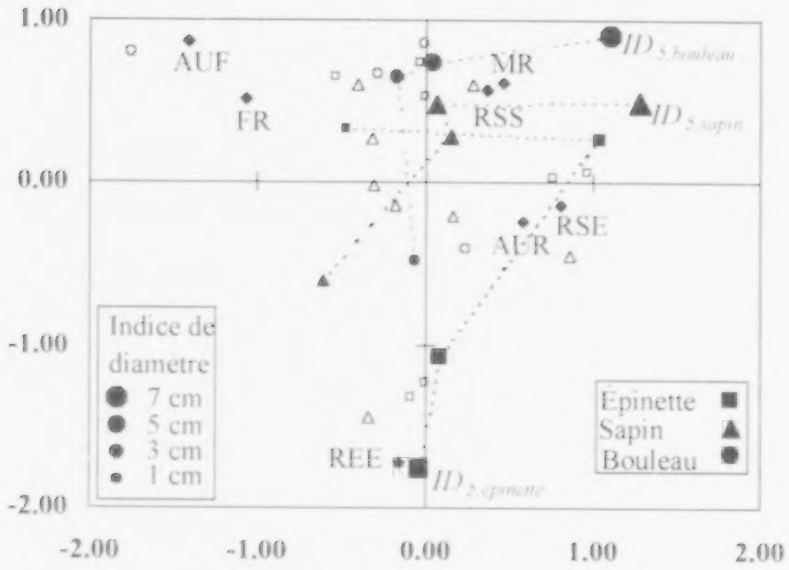


Figure 34. Relation entre les patrons de croissance et les indices de diamètre de chacune des espèces, selon l'analyse factorielle des correspondances.

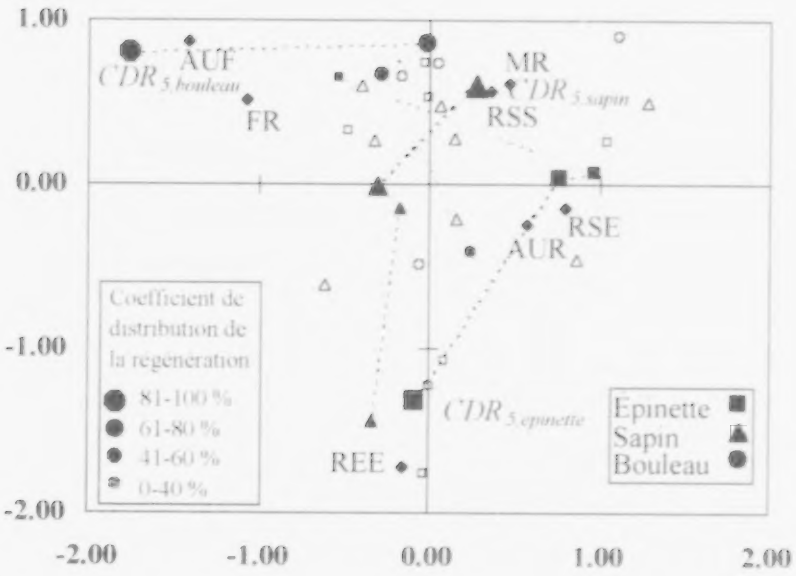


Figure 35. Relation entre les patrons de croissance et les coefficients de distribution de chacune des espèces, selon l'analyse factorielle des correspondances.

Tableau 7. Analyse de variance de la production de résineux pour le type de peuplement avant coupe comme variable explicative

Sources de variation	d.l. num.	d.l. denom.	F	Pr > F
T	1	200	24,47	< 0,0001
T^2	1	200	66,70	< 0,0001
T * SRÉ	3	200	9,66	< 0,0001
$ID_{5,résineux}$	1	114	0,60	0,4407
T * $ID_{5,résineux}$	1	200	1,91	0,1682
TP	2	114	9,26	0,0002
T * TP	2	200	10,05	< 0,0001
T * $ID_{5,résineux}$ * TP	2	200	4,57	0,0115
Erreur-type résiduelle	9,7 m^3/ha	Coefficient de détermination		84,1 %

Tableau 8. Analyse de variance de la production de résineux pour le type de peuplement épinette-sapin avant coupe

Sources de variation	d.l. num.	d.l. denom.	F	Pr > F
T	1	124	21,36	< 0,0001
T^2	1	124	64,27	< 0,0001
T * SRÉ	3	124	11,80	< 0,0001
$ID_{5,résineux}$	1	71	0,03	0,8566
T * $ID_{5,résineux}$	1	124	6,88	0,0098
Erreur-type résiduelle	10,1 m^3/ha	Coefficient de détermination		85,6 %

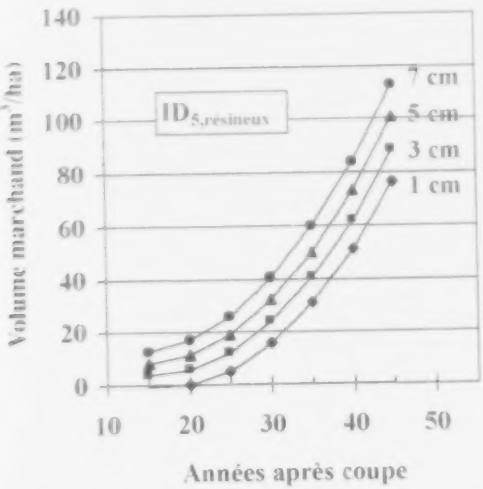


Figure 36. Évolution de la production résineuse, dans le type de peuplement épinette-sapin avant coupe, selon l'indice de diamètre résineux à cinq ans ($ID_{5,résineux}$).

Tableau 9. Analyse de variance de la production de résineux pour le type de peuplement mélangé avant coupe

Sources de variation	d.l. num.	d.l. dénom.	F	Pr > F
T	1	27	1,04	0,3171
T^2	1	27	4,83	0,0367
$ID_{5,résineux}$	1	9	0,19	0,6717
T * $ID_{5,résineux}$	1	27	0,00	0,9951
Erreur-type résiduelle	11,2 m^3/ha	Coefficient de détermination		55,1 %

2.2.1.3 Production de résineux dans le type épinette

Pour connaître la production de résineux dans le type de peuplement épinette avant coupe (TP_{es}), 84 observations en provenance de 34 placettes ont été utilisées. Le modèle conçu n'explique que 42,5 % de la variation totale du volume. Son erreur-type résiduelle est de 6,6 m^3/ha (Tableau 10). L'effet de l'indice de diamètre à cinq ans des 1 000 plus gros résineux à l'hectare n'est pas significatif au seuil α = 0,05 (p : $ID_{5,résineux}$ = 0,1302; T * $ID_{5,résineux}$ = 0,9864). Les volumes marchands observés sont généralement faibles et indiquent peu de variations pour la période observée.

2.2.2 Modélisation de la production selon l'espèce

La modélisation de la production selon l'espèce s'est effectuée au moyen d'une adaptation du modèle pour la production résineuse. Elle fait appel à l'indice de diamètre et au coefficient de distribution de l'espèce retenue au lieu de ceux calculés pour les résineux. Cette décision repose sur les résultats de l'analyse factorielle des correspondances laquelle établit l'importance des liens entre les descripteurs des paramètres de peuplement en bas âge et les patrons de croissance que suivront probablement les peuplements. Encore une fois, l'analyse a été divisée selon les types de peuplement avant coupe.

2.2.2.1 Production de sapin dans le type épinette-sapin

Le modèle pour décrire la production de sapin explique 79,4 % de la variation totale du type épinette-sapin. L'erreur-type résiduelle afférente à ce modèle est de 10,1 m^3/ha (Tableau 11). Ce modèle se distingue de celui de la production de résineux, par l'utilisation de l'indice de diamètre cinq ans après la coupe des 1 000 plus gros sapins. Cet indice, qui interagit avec le temps, atteint presque le seuil α = 0,05 (p : T * $ID_{5,sapin}$ = 0,0638; $ID_{5,sapin}$ = 0,6086). Cela souligne l'importance de cette variable dans l'explication de la variation du volume de sapin. Bien que cette contribution soit non significative, elle laisse entrevoir un gain d'environ trois ans pour une même production de chaque tranche de 2 cm de l'$ID_{5,sapin}$.

2.2.2.2 Production de sapin dans le type mélangé

L'utilisation d'un modèle similaire à celui utilisé précédemment n'explique que 36,6 % de la variation totale de la production de sapin dans ce type. L'erreur-type résiduelle afférente à ce modèle est de 10,5 m^3/ha (Tableau 12). L'indice de diamètre à cinq ans des 1 000 plus gros sapins à l'hectare n'a pas contribué de façon significative, au seuil α = 0,05 (p : $ID_{5,sapin}$ = 0,2141; T * $ID_{5,sapin}$ = 0,1987), à l'explication de la production de sapin.

2.2.2:3 Production de sapin dans le type épinette

Les volumes marchands observés sont généralement faibles et présentent peu de variations dans la période observée. Le modèle n'explique que 47,0 % de la variation totale du volume. L'erreur-type résiduelle afférente est de 4,1 m^3/ha (Tableau 13). L'indice de diamètre à cinq ans des 1 000 plus gros sapins à l'hectare quand il interagit avec le temps est significatif au seuil α = 0,05 (p : $ID_{5,sapin}$ = 0,6733; T * $ID_{5,sapin}$ = 0,0387). Cela souligne l'importance de cette variable dans l'explication de la variation du volume de sapin. Les courbes produites démontrent qu'une hausse de l'$ID_{5,sapin}$ entraîne une augmentation du volume de sapin (Figure 37).

2.2.2.4 Production de l'épinette dans le type épinette-sapin

Le modèle de la production de l'épinette explique 70,6 % de la variation totale de la production d'épinette dans le TP_{es}. L'erreur-type résiduelle afférente à ce modèle est de 3,5 m^3/ha. L'indice de diamètre de l'épinette est utilisé pour expliquer la production de l'épinette. L'indice de diamètre est encore la variable du peuplement qui décrit le mieux les différences de production. L'$ID_{5,épinette}$ ne contribue cependant pas de façon significative, au seuil α = 0,05 (p : $ID_{5,épinette}$ = 0,5234; T * $ID_{5,épinette}$ = 0,1007), à l'explication de la production d'épinette (Tableau 14). Le peu de variation du volume pour la période observée ne permet pas aux variables d'être significatives au seuil α = 0,05.

Tableau 10. Analyse de variance de la production de résineux pour le type de peuplement épinette avant coupe

Sources de variation	d.l. num.	d.l. dénom.	F	Pr > F
T	1	44	0,64	0,4287
T^2	1	44	0,18	0,6700
T * SRE	3	44	2,24	0,0973
$ID_{5\ résineux}$	1	32	2,41	0,1302
T * $ID_{5\ résineux}$	1	44	0,00	0,9864
Erreur-type résiduelle	6,6 m^3/ha	Coefficient de détermination		42,5 %

Tableau 11. Analyse de variance de la production du sapin pour le type de peuplement épinette-sapin avant coupe

Sources de variation	d.l. num.	d.l. dénom.	F	Pr > F
T	1	124	10,56	0,0015
T^2	1	124	37,51	< 0,0001
T * SRE	3	124	8,22	< 0,0001
$ID_{5\ sapin}$	1	71	0,26	0,6086
T * $ID_{5\ sapin}$	1	124	3,50	0,0638
Erreur-type résiduelle	10,1 m^3/ha	Coefficient de détermination		79,4 %

Tableau 12. Analyse de variance de la production du sapin pour le type de peuplement mélangé avant coupe

Sources de variation	d.l. num.	d.l. dénom.	F	Pr > F
T	1	27	0,04	0,8377
T^2	1	27	1,18	0,2867
$ID_{5\ résineux}$	1	9	1,79	0,2141
T * $ID_{5\ résineux}$	1	27	1,74	0,1987
Erreur-type résiduelle	10,5 m^3/ha	Coefficient de détermination		36,6 %

Tableau 13. Analyse de variance de la production du sapin pour le type de peuplement épinette avant coupe

Sources de variation	d.l. num.	d.l. dénom.	F	Pr > F
T	1	44	0,15	0,7050
T^2	1	44	0,65	0,4255
T * SRE	3	44	0,90	0,4512
$ID_{5\ sapin}$	1	32	0,18	0,6733
T * $ID_{5\ sapin}$	1	44	4,54	0,0387
Erreur-type résiduelle	4,1 m^3/ha	Coefficient de détermination		47,0 %

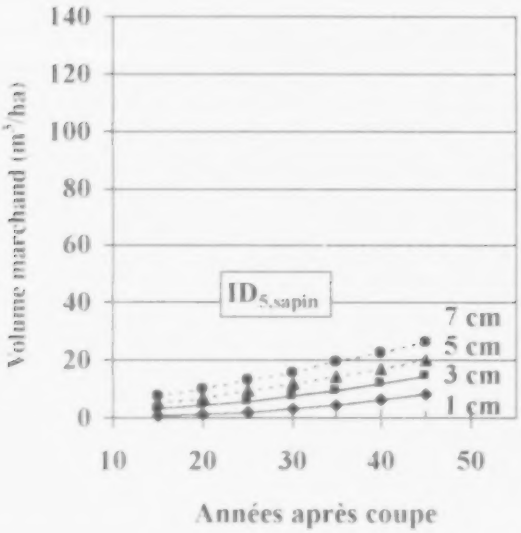


Figure 37. Évolution de la production du sapin, dans le type de peuplement épinette avant coupe, selon l'indice de diamètre du sapin à cinq ans. *Les indices de diamètre peu représentés dans l'échantillonnage sont illustrés par un trait pointillé.*

Tableau 14. Analyse de variance de la production de l'épinette pour le type de peuplement épinette-sapin avant coupe

Sources de variation	d.l. num.	d.l. dénom.	F	Pr > F
T	1	124	16,02	0,0001
T^2	1	124	38,03	< 0,0001
T * SRE	3	124	1,63	0,1864
$ID_{5\ épinette}$	1	71	0,41	0,5234
T * $ID_{5\ épinette}$	1	124	2,73	0,1007
Erreur-type résiduelle	3,5 m³/ha	Coefficient de détermination		70,6 %

2.2.2.5 Production de l'épinette dans le type mélangé

L'utilisation d'un modèle similaire à celui utilisé précédemment explique 69,0 % de la variation totale de la production d'épinette dans ce type. L'erreur-type résiduelle afférente à ce modèle est de 5,2 m³/ha (Tableau 15). L'indice de diamètre à cinq ans des 1 000 plus grosses épinettes à l'hectare explique de façon très significative (p : $ID_{5\ épinette}$ = 0,0277; T * $ID_{5\ épinette}$ = 0,0002) la production de l'épinette. La figure 38 démontre bien la nette augmentation du volume avec la hausse de $ID_{5\ résineux}$. Cependant, il faut faire preuve de prudence dans l'interprétation de ces résultats en raison du peu d'observations recueillies dans ce type de peuplement.

2.2.2.6 Production de l'épinette dans le type épinette

Les volumes marchands observés sont généralement faibles et varient peu selon la période observée. Le modèle n'explique que 62,2 % de la variation totale du volume. L'erreur-type résiduelle afférente à ce modèle est de 3,8 m³/ha (Tableau 16). L'indice de diamètre à cinq ans des 1 000 plus grosses épinettes n'est pas significatif au seuil α = 0,05 (p : $ID_{5\ épinette}$ = 0,4646; T * $ID_{5\ épinette}$ = 0,6772).

Tableau 15. Analyse de variance de la production de l'épinette pour le type de peuplement mélangé avant coupe

Sources de variation	d.l. num.	d.l. denom.	F	Pr > F
T	1	27	3,51	0,0719
T^2	1	27	3,36	0,0780
$ID_{5,épinette}$	1	9	6,88	0,0277
T * $ID_{5,épinette}$	1	27	19,36	0,0002
Erreur-type résiduelle	5,2 m^3/ha	Coefficient de détermination		69,0 %

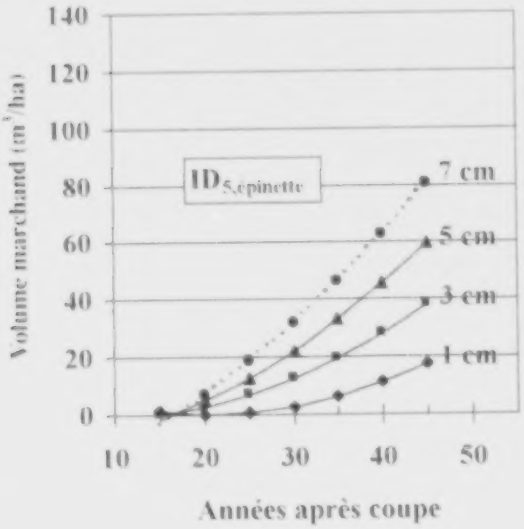


Figure 38. Evolution de la production de l'épinette, dans le type de peuplement mélangé avant coupe, selon l'indice de diamètre de l'épinette à cinq ans. *Les indices de diamètre peu représentés dans l'échantillonnage sont illustrés par un trait pointillé.*

Tableau 16. Analyse de variance de la production de l'épinette pour le type de peuplement épinette avant coupe

Sources de variation	d.l. num.	d.l. dénom.	F	Pr > F
T	1	44	0,64	0,4288
T^2	1	44	0,01	0,9050
T * SRÉ	2	44	9,95	< 0,0001
$ID_{5,épinette}$	1	32	0,55	0,4646
T * $ID_{5,épinette}$	1	44	0,18	0,6772
Erreur-type résiduelle	3,8 m^3/ha	Coefficient de détermination		62,2 %

Chapitre trois

Discussion

3.1 Dynamique des peuplements en fonction des caractéristiques de station et du peuplement

3.1.1 Type de peuplement

La représentation dans le plan des résultats de l'analyse factorielle des correspondances sépare de façon évidente les peuplements avant coupe de type épinette de ceux de type épinette-sapin ou mélangé. En effet, les anciens peuplements d'épinette se sont reconstitués fréquemment en peuplements dominés par l'épinette tandis que les peuplements de type mélangé et épinette-sapin se sont fortement différenciés d'un peuplement de retour dominé par l'épinette. Cette observation correspond à celle de VÉZINA et FALARDEAU (1988) dont les travaux rapportent que la composition des essences de ces mêmes peuplements en général changeait peu durant les 50 premières années subséquentes à la coupe. Les anciens peuplements du type épinette sont fortement associés à une régénération abondante d'épinette et faible de sapin. Ceux du type mélangé et du type épinette-sapin présentent, de façon générale, une régénération importante de sapin et faible d'épinette. Les compilations des coefficients de distribution quatre et dix ans après la coupe présentées par DOUCET (2000) sont un autre exemple du lien étroit entre le type de peuplement avant coupe et la proportion sapin/épinette caractérisant leur régénération depuis la coupe. Selon les résultats de l'AFC, la régénération de bouleau depuis la coupe est généralement moins bien répartie et sa hauteur est plus faible pour le type épinette que pour les deux autres types.

3.1.2 Classe de station

Le plan défini par l'analyse factorielle des correspondances a permis de disperser les différentes catégories de classe de station et de les associer d'une façon logique à certains patrons de croissance. Ainsi, la classe de station pourrait servir à prévoir le patron de croissance suivi par les peuplements depuis la coupe. Plusieurs études ont utilisé une information écologique similaire à celle intégrée dans la classe de station afin de discriminer les croissances différentes pour des peuplements semblables. À titre d'exemple, LAROCQUE *et al.* (1996) obtiennent de meilleures estimations de la tendance à long terme de la croissance en hauteur avec l'intégration, sous forme des *groupes opérationnels* (JONES *et al.*, 1983), de données écologiques de base tels le type forestier, la texture du sol et le régime d'humidité. BÉGIN *et al.* (1990) ont noté l'efficacité du type géomorphologique pour distinguer les associations phytosociologiques d'érable rouge, qui elles justifient des tables de production distinctes. SAUCIER (1992), selon les types écologiques obtenus par photo-interprétation, a formé un nombre réduit de regroupements pour lesquels on peut espérer une certaine productivité et une dynamique lesquelles correspondent à des peuplements similaires au stade final dans la sapinière à bouleau jaune.

3.1.3 Indice de diamètre et coefficient de distribution de la régénération

Les résultats de l'AFC laissent entrevoir également que les caractéristiques du peuplement, notamment la nature, la taille et la distribution de la régénération cinq ans après la coupe influencent de manière importante la composition des peuplements à venir. Pour les types de peuplement mélangé et d'épinette-sapin, l'indice de diamètre et le coefficient de distribution de la régénération cinq ans après la coupe du sapin semblent les plus importants pour différencier leurs patrons de croissance afférents. La partie supérieure du plan résultant de l'AFC est alors partagée à la verticale.

Un premier groupe se caractérise par de faibles indices de diamètre et coefficients de distribution de sapin et d'épinette et de forts coefficients de distribution de la régénération de bouleau. Cette situation se retrouve dans les meilleures stations. CÔTE et BÉLANGER (1991) identifient les sapinières de ces stations (Sh-3*) par leur régénération préétablie de seconde venue, moins abondante, laquelle serait surtout liée au milieu de croissance, notamment à l'abondance de litière de feuillus. Vu l'absence de haute régénération de résineux depuis la coupe, les peuplements à l'étude sont associés à des patrons de croissance dont les épisodes sont dominés par le bouleau (AF et FR). L'envahissement des parterres de coupe par le bouleau de même que sa position dominante seraient donc favorisés par l'absence de haute régénération de résineux. Toutefois, il n'est pas possible d'établir de liens de cause à effet en faisant appel à l'analyse factorielle des correspondances.

Un second groupe occupe la partie supérieure droite du plan résultant de l'AFC. En raison de forts indices de diamètre de sapin et des coefficients de distribution de la régénération de sapin élevés, les peuplements à l'étude suivent des patrons de croissance dominés par

le sapin (RSS) ou se transforment en peuplements mélangés de résineux (MR), essentiellement dominés par le sapin. Les forts indices de diamètre du bouleau observés, conséquence probable de tiges résiduelles, ne semblent pas être des facteurs déterminants du développement à long terme de ces peuplements selon les résultats de l'analyse factorielle des correspondances. Ruel *et al.* (1998) mentionnent que la forte présence de feuillus à cinq ans n'implique pas nécessairement une transformation en peuplement mélangé. De plus, ces auteurs notent une grande variabilité dans la reconstitution des anciens peuplements mélangés.

L'analyse factorielle des correspondances démontre bien que l'évolution d'un peuplement ne dépend pas d'un seul facteur mais plutôt d'un ensemble de facteurs. En estimant certaines variables de station et de peuplement quelques années après la coupe, il est possible de prévoir l'évolution d'un peuplement de seconde venue. De plus, cette analyse confirme la nécessité de distinguer adéquatement les semis de sapin de ceux en épinette, lors des inventaires subséquents à la coupe, afin de prévoir plus efficacement la composition à venir d'un peuplement.

3.2 Modélisation de la production à l'échelle du peuplement

3.2.1 Production des trois types de peuplements

L'ensemble des figures de la production résineuse révèle, de façon générale, que les peuplements d'épinette-sapin avant coupe affichent une meilleure production résineuse par rapport aux peuplements mélangés avant coupe. Par contre, les peuplements issus d'anciens peuplements d'épinette fournissent la production la moins élevée de tous. Ces résultats corroborent ceux de Vézina et Falardeau (1988), pour le même réseau de placettes situées au nord de la rivière Saguenay, pour lesquels, 50 ans après la coupe, ils rapportent des volumes marchands équivalents aux peuplements d'origine, sauf pour les peuplements du type épinette qui sont moins productifs. Pour ce dernier type, ces auteurs mentionnent que bon nombre de gaules n'ont pas encore atteint les classes de diamètre marchand. Ils observent également que, de façon générale, les arbres sont plus petits et plus nombreux par rapport à ceux des peuplements d'origine. On peut donc présumer que la majorité des peuplements mélangés se sont établis sur des stations riches où la forte compétition interspécifique (Eis 1981, Harvey et Bergeron 1989) a pu ralentir la croissance des essences résineuses lors de la phase d'implantation. Comme conséquence, leur production s'est avérée plus faible que les peuplements épinette-sapin. Ces explications semblent tout à fait plausibles si l'on prend en compte les résultats de l'analyse factorielle des correspondances. Celle-ci positionne effectivement les peuplements de type mélangé avant coupe près de la classe de station I+ et les peuplements de type épinette relativement près de la classe de station III.

3.2.2 Effet de la taille et du coefficient de distribution de la régénération

L'indice de diamètre des 1 000 plus grosses tiges résineuses à l'hectare cinq ans après la coupe s'est avéré une variable efficace pour expliquer une partie de la variation de la production résineuse des peuplements d'épinette-sapin. De façon générale, les placettes dont les arbres ont de forts indices de diamètre montrent une production supérieure. Alors que l'$ID_{5\,résineux}$ est significatif au seuil $\alpha = 0.05$ dans le type épinette-sapin, il ne l'est pas dans les types de peuplement mélangé et d'épinette avant coupe. La difficulté de mettre en évidence l'importance de l'indice de diamètre dans ces deux types de peuplement peut être expliquée en partie par le fait que ceux-ci présentent une faible variation du volume pour la période étudiée. Le volume augmente plus rapidement dans les peuplements épinette-sapin et explique davantage les variations observées. Également, le nombre d'observations dans le type mélangé (41 observations/11 placettes) et le type épinette (84/34) est plus faible que le nombre d'observations dans le type épinette-sapin (203/73).

Dans le type épinette-sapin, une diminution de la révolution d'environ deux ans pour une même production semble envisageable pour chaque augmentation de 2 cm de l'indice de diamètre. Bien que non significative dans les types épinette et mélangé, la hausse de l'indice de diamètre laisse entrevoir tout de même une augmentation de la production. Ces résultats ne peuvent se comparer à aucun autre mais ils équivalent aux résultats obtenus par d'autres auteurs. Riopel (1999) prévoit une diminution de la révolution de 3,4 années pour chaque augmentation de 1 m de l'indice des 1 000 plus hautes tiges à l'hectare des sapinières. Les résultats de Pothier *et al.* (1995) prévoient une diminution de la révolution d'environ six ans pour un indice de 3 m et de neuf ans pour un indice de 6 m par rapport à un indice de 0 m. L'importance de prendre en compte la taille des tiges dans la prévision de l'évolution de la production d'un peuplement a déjà été abondamment discutée dans les deux chapitres précédents ainsi que dans plusieurs études (Bertrand *et al.* 1992, Paquin et Doucet 1992, Ruel *et al.* 1998).

Une fois l'indice de diamètre pris en compte, le coefficient de distribution de la régénération n'exerce aucune influence significative au seuil $\alpha = 0,05$ dans l'explication de la production résineuse. Le nombre restreint de placettes où l'$ID_{5\,résineux}$ est faible n'a pas permis de mettre en évidence l'influence du $CDR_{5\,résineux}$ sur la production résineuse. De plus, le $CDR_{5\,résineux}$ y est généralement important et la production est, dans l'ensemble, inférieure à 20 m^3/ha après 30 ans ce qui constitue des variations en volume de trop faible importance. Une plus grande variation du $CDR_{5\,résineux}$ dans ces placettes et une période d'observations plus longue auraient peut-être confirmé l'hypothèse selon laquelle l'augmentation du $CDR_{5\,résineux}$ entraîne une plus grande production. Par ailleurs, il est plausible de croire que l'effet du CDR_5 est probablement éclipsé par

celui de l'ID_5 qui est prépondérant. Ceci correspond aux conclusions émises par Bertrand *et al.* (1992) pour lesquelles la seule caractérisation du coefficient de distribution et du nombre de tiges à l'hectare serait insuffisante pour évaluer la production des peuplements de sapin adéquatement. Pour une meilleure prévision, il serait alors nécessaire de prendre en compte les dimensions de la régénération.

Le coefficient de distribution de la régénération et l'indice de diamètre n'ont quantifié que partiellement le potentiel de production de la régénération. L'utilisation de critères tels ceux proposés par Ruel *et al.* (1995) et Ruel et Doucet (1998) pour évaluer la qualité des tiges quelques années depuis la coupe devrait améliorer la qualité de l'évaluation de ce potentiel.

3.2.3 Effet de la classe de station

Une fois l'indice de diamètre retenu, la classe de station (CS) n'était pas corrélée significativement à la production résineuse. La difficulté de mettre en évidence l'influence de la classe de station sur la production résineuse s'explique en partie par la stratification de l'échantillon selon les types de peuplement avant coupe lesquels sont en lien avec l'indice de qualité de station. Une telle stratification réduit ainsi la variation de la classe de station de chacun des groupes. L'importante variabilité des caractéristiques des peuplements après coupe dans chacune des classes, typique des peuplements juvéniles, accentue la difficulté d'interprétation de l'expression de la classe de station. Page (1976) mentionne que la croissance en hauteur du sapin est supérieure à celle de l'épinette noire sur les meilleures stations et qu'elle est quelque peu inférieure sur les stations plus pauvres. La proportion variable sapin-épinette à l'intérieur de chaque type de peuplement atténue probablement la force du lien entre la production résineuse et les classes de station qui sont définies pour le sapin baumier selon les travaux de Bélanger *et al.* (1995).

3.3 Modélisation de la production selon l'espèce

3.3.1 Production de sapin et d'épinette dans le type de peuplement épinette-sapin

Les résultats les plus concluants de la modélisation de l'évolution de la production de sapin proviennent du type de peuplement avant coupe d'épinette-sapin. La taille de l'échantillon dans ce type et la production de sapin généralement plus élevée ne sont pas étrangères à ces meilleurs résultats. L'indice de diamètre de sapin, cinq ans après la coupe, explique, à peu de chose près ($Pr > F = 0,0638$), une partie de la production de sapin. Bien que cette contribution soit non significative, elle laisse entrevoir une meilleure production pour un indice de diamètre de sapin plus élevé. En comparant des surfaces terrières totales de 10 m^2/ha à celles de 5 m^2/ha, dix ans après la coupe, Bertrand *et al.* (1992) rapportent des gains d'environ dix ans pour une production équivalente de volume marchand dans de jeunes sapinières.

Par ailleurs, l'évolution de la production de l'épinette est nettement moins rapide que celle du sapin. L'influence de l'indice de diamètre d'épinette cinq ans après la coupe n'est pas significative mais l'augmentation de l'indice de diamètre, telle qu'anticipée, suppose une augmentation de la production. L'épinette est une essence compagne du sapin baumier dans ces peuplements qui sont typiquement caractérisés par des coefficients de distribution de la régénération d'épinette faible avant (Doucet 1988) et après coupe (Doucet 2000). Vézina et Falardeau (1988) observaient une proportion équivalente de sapin et d'épinette, autant en nombre qu'en volume marchand, à celle des peuplements avant coupe. Pour des tiges qui croissent très près l'une de l'autre, l'accroissement de la hauteur et du diamètre de l'épinette noire se maintient sur une plus longue période que celui du sapin baumier ce qui explique pourquoi les tiges d'épinette dépasseraient à long terme celles de sapin qui ont une croissance initiale plus rapide les premières années (Achim 1998, Doucet 2000). Page (1976) rapporte que la croissance de la hauteur du sapin est supérieure à celle de l'épinette noire sur les meilleures stations et quelque peu inférieure sur les stations plus pauvres. L'évolution de la proportion sapin-épinette est difficilement prévisible.

3.3.2 Production de sapin et d'épinette dans le type de peuplement mélangé

Les résultats de la modélisation de la production du sapin dans le type mélangé expliquent très peu la variation du volume de sapin. L'indice de diamètre de cinq ans du sapin n'apporte aucune contribution significative dans l'explication de la production. À l'inverse, l'indice de diamètre de cinq ans de l'épinette s'avère hautement significatif dans l'explication de la production d'épinette. Les courbes produites ressemblent davantage à celles de la production en sapin dans les types mélangé et épinette-sapin qu'à celles de la production d'épinette dans les autres types avant coupe. Il est probable que les épinettes constituant les peuplements de type mélangé soient à l'occasion des épinettes blanches. Cette dernière espèce se caractérise par une croissance plus agressive que celle de l'épinette noire. Sa croissance se compare davantage à celle du sapin baumier.

Le faible nombre de placettes étudiées de même qu'une grande variabilité dans la reconstitution des anciens peuplements mélangés (Ruel *et al.* 1998) nous incitent à la prudence dans l'interprétation des résultats.

3.3.3 Production de sapin et d'épinette dans le type de peuplement mélangé

La modélisation selon l'espèce dans le type de peuplement épinette avant coupe révèle une contribution significative de l'indice de diamètre de cinq ans du sapin dans l'explication de la production. Il est cependant risqué de quantifier le gain qu'on attribue à l'indice de diamètre du sapin puisque la variation observée de

la production est relativement faible. Pour l'épinette, bien que les différences ne soient pas statistiquement significatives, la modélisation de la production du volume d'épinette dans ce type laisse supposer, telle qu'attendue, une meilleure production pour un indice de diamètre d'épinette plus élevé. Ce résultat est sans doute attribuable au fait que la production en jeune âge est faible dans ce type de peuplement. Une période d'observations plus longue aurait probablement confirmé cette tendance.

Vezina et Falardeau (1988) attribuaient cette stagnation de la croissance à la présence de marcottes pourvues de systèmes racinaires inadéquats ou à une mauvaise distribution de la régénération. Par contre, les travaux de Boily et Doucet (1993) démontrent que la qualité de station a plus d'influence sur la croissance que le mode de reproduction et que, lorsqu'elles sont placées en position dominante, les petites marcottes sont capables d'une bonne croissance. Les meilleures croissances en hauteur (Lussier *et al.* 1992, Paquin et Doucet 1992, Pothier *et al.* 1995) et en volume (Lussier *et al.* 1992, Pothier *et al.* 1995) de l'épinette proviennent des plus hautes marcottes après la coupe.

Conclusion

Cette étude met en évidence la prépondérance de la haute régénération dans l'explication de la production des peuplements de seconde venue. Une fois l'indice de diamètre pris en compte, l'étude n'établit pas de relation significative entre le coefficient de distribution de la régénération et l'évolution de la production forestière. La dynamique forestière des peuplements depuis la coupe est principalement liée au type de peuplement avant coupe, facteur prépondérant de la composition de la régénération préétablie. La présence de haute régénération de résineux semble influencer, en partie, l'évolution de la composition des peuplements subséquents à la coupe. Les peuplements caractérisés par de faibles indices de diamètre de sapin ou d'épinette sont associés plus fortement à des patrons de croissance caractérisés par des épisodes où le bouleau à papier domine. Une fois le type de peuplement pris en compte, il n'existe pas de lien étroit entre les caractéristiques de station et l'évolution de la production. Toutefois, la possibilité de différencier en partie la dynamique des peuplements sur la base des caractéristiques de station rend les classes de station intéressantes.

Les résultats de la modélisation de la production résineuse selon l'espèce ne représentent pas des tables de production. Les courbes qui reflètent la production doivent être interprétées comme des indicateurs de l'importance relative des variables à l'étude dans l'explication de la production forestière. Pour leur part, les résultats de l'analyse factorielle des correspondances ne peuvent être utilisés, de par la nature descriptive de l'analyse, pour de l'inférence statistique. L'analyse factorielle des correspondances s'est avérée un outil efficace pour faire ressortir les liens importants et complexes entre les variables de station, les variables du peuplement après la coupe et la dynamique de la croissance des peuplements après coupe. La variable « patron de croissance », laquelle résulte de l'évaluation dans le temps de la proportion en surface terrière des essences principales, s'est avérée un moyen simple et efficace de synthétiser la dynamique des différents peuplements depuis la coupe.

Bien que la modélisation puisse être un outil intéressant pour la planification forestière, il reste qu'elle ne peut évaluer précisément la production du peuplement à venir. Trop d'incertitudes entourent encore les peuplements en phase juvénile pour les associer avec confiance à une table de production. Cela reflète encore une fois l'urgence de mieux connaître leur dynamique.

Quatrième partie

Synthèse de l'information

Chapitre premier

Dynamique de la régénération après coupe

1.1 Évolution de la composition en essences des peuplements

L'étude de *FERIC-CFL* a suivi l'évolution de la régénération de pessières noires, de sapinières, de pinèdes à pin gris et de peuplements mélangés sur une période de 30 ans depuis la coupe. Pour l'ensemble des aires dominées à l'origine par l'épinette noire, la régénération préétablie était abondante, tant en distribution qu'en densité. La coupe a provoqué une baisse considérable du niveau de régénération. Néanmoins, cette baisse est représentative de celle observée lorsque aucune mesure n'est prise, lors des opérations de récolte, pour protéger la régénération. À l'exception d'une seule aire, le coefficient de distribution après la coupe est inférieur à celui observé lorsque la coupe visait la protection de la régénération. La composition des peuplements 30 ans après la coupe se rapproche de celle des peuplements d'origine où l'épinette noire domine largement. Le sapin, dont la régénération préétablie était abondante, ne constitue pas une composante majeure comme on aurait pu le présumer. Bien que les feuillus aient envahi les parterres de coupe à la suite de la destruction du couvert, leur représentation au sein du couvert à 30 ans est faible.

Pour les quatre aires de sapin recensées, la régénération préétablie était très abondante. Bien que la destruction de la régénération ait été importante, son coefficient de distribution s'est maintenu au-dessus de 60 %. Par la suite, le coefficient de distribution des résineux s'est accru mais d'une façon moins évidente que dans le cas des pessières noires. À l'exception d'une aire de coupe, l'épinette occupe une place moins importante dans les peuplements de 30 ans que dans les peuplements d'origine. À 30 ans, le sapin est nettement plus abondant que l'épinette sur l'ensemble des aires. Pour ce qui est des feuillus, ils ont grandement profité de l'ouverture du couvert pour s'établir en abondance. Au cours des cinq premières années, l'évolution des feuillus s'est modifiée selon l'aire de coupe de sorte que leur abondance à 30 ans est variable. Sur une des aires, leur présence est prépondérante de sorte qu'ils devraient constituer une part importante du peuplement à maturité. Par contre sur les autres aires, l'envahissement des parterres par les feuillus n'a été que temporaire. Leur déclin est cependant moins prononcé que dans le cas des peuplements d'épinette noire.

La régénération préétablie dans les peuplements de pin gris était nettement moins abondante que celle qui prévalait dans les sapinières et les pessières noires. Dans les peuplements de pin gris, on assiste, au cours des cinq premières années, à une certaine augmentation du coefficient de distribution attribuable principalement à l'installation d'épinettes noires. À la cinquième année, on note la présence d'une régénération de pin gris qui était inexistante avant la coupe. Le comportement des feuillus varie grandement selon les aires de coupe. Alors qu'à cinq ans ils étaient absents sur une aire, leur coefficient de distribution se situait autour de 70 % sur les deux autres. La densité des résineux à 30 ans est supérieure à celle des feuillus dans tous les peuplements. L'épinette noire domine en nombre, suivi du pin gris, lequel est relativement abondant sur deux aires de coupe. Quant à la régénération du sapin, elle ne se retrouve en quantité importante que sur une aire. Les peuplements de pin gris d'origine semblent donc s'être reconstitués en pinèdes à pin gris et épinette noire.

Les peuplements mélangés supportaient une abondante régénération préétablie, principalement composée de sapin. Encore une fois, la coupe a engendré une chute prononcée du coefficient de distribution, notamment celui du résineux dont la valeur se retrouve sous 60 % sur trois des quatre aires. À 30 ans, l'abondance des feuillus a diminué fortement par rapport à ce qu'elle était quelques années après la coupe. Leur proportion s'est tout de même accrue sur deux aires en comparaison des peuplements d'origine. Pour ce qui est des résineux, le sapin est plus abondant que l'épinette sur l'ensemble des aires étudiées.

Il n'a pas été possible d'identifier les procédés de récolte les plus dommageables à la régénération. Dans les sapinières et les peuplements mélangés, l'emploi d'un procédé non mécanisé, en l'occurrence l'usage des chevaux, a provoqué une baisse du coefficient de distribution similaire à celle des débusqueuses. On peut croire que la pratique de la CPRS, limitée uniquement aux sentiers espacés, permettrait de réduire la destruction du niveau de régénération. Le coefficient de distribution généralement observé dans les peuplements d'épinette noire est d'ailleurs inférieur à celui observé dans des études où la régénération a été protégée lors de la coupe.

L'étude d'*Abitibi-Price* s'est servie de l'analyse factorielle des correspondances pour associer l'évolution de la composition des peuplements aux caractéristiques de station et du peuplement. Les tendances démontrent 45 ans après la coupe, que les anciens peuplements d'épinette noire ont évolué fréquemment vers des peuplements dominés par l'épinette noire, situés sur les sites les moins fertiles. Bien que la tendance soit moins claire, les peuplements d'épinette-sapin et mélangé, situés sur des stations plus riches, semblent plutôt se reconstituer en des peuplements dominés par le sapin (RSS), avec parfois une composante de feuillus importante mais non dominante (MR). L'indice de diamètre (ID_5) et le coefficient de distribution de la régénération (CDR_5), tous deux évalués à cinq ans, ont influencé de façon notable le patron de croissance des peuplements. Ainsi, les peuplements pourvus d'un fort $ID_{5\,épinette}$ et $CDR_{5\,épinette}$ se sont reconstitués dans des peuplements d'épinette. Les peuplements caractérisés par de forts $ID_{5\,sapin}$ et $ID_{5\,bouleau}$ de même qu'un $CDR_{5\,sapin}$ élevé ont évolué davantage vers des patrons de croissance MR et RSS alors que ceux d'un faible $ID_{5\,épinette}$ et d'un fort $CDR_{5\,bouleau}$ se sont reconstitués avec une composante feuillue dominante soit au début ou à la fin de l'horizon étudié (FR et AUF).

Il s'avère donc important de retenir non pas un seul facteur mais un ensemble de facteurs pour évaluer l'évolution de la composition d'un peuplement de seconde venue. Les résultats de l'étude démontrent bien l'importance d'isoler les essences résineuses (épinette noire et sapin) dans les inventaires afin d'évaluer plus efficacement la composition à venir du peuplement.

1.2 Évolution de la hauteur et de la croissance en hauteur de l'épinette noire et du sapin baumier

L'étude de *FERIC-CFL* a examiné l'évolution de la régénération de l'épinette noire et du sapin baumier à l'échelle des aires, dont la superficie varie de 1,5 à 4 ha, et des placettes de 0,04 ha. L'évaluation de la dynamique de la régénération calculée à l'échelle des placettes reflète une plus grande homogénéité des conditions du site, ce qui permet ainsi de réduire les probabilités que ces deux essences n'aient pas profité des mêmes conditions de croissance. Les résultats démontrent, quelques années après la coupe, l'avantage prépondérant de la hauteur du sapin sur l'épinette noire dans la majorité des cas. Bien que cette observation puisse être imputée à une taille plus élevée au moment de la coupe, les résultats sous-entendent que le sapin réagit plus rapidement à l'ouverture du couvert. Par la suite, les observations montrent que l'épinette a renversé la situation à un point tel que sa hauteur dépasse celle du sapin 30 ans après la coupe. L'épinette profite, après quelques années, d'une meilleure croissance en hauteur que le sapin et maintiendrait cet avantage durant plusieurs années après la coupe.

Un inventaire de régénération, effectué quelques années après coupe, aurait soulevé l'hypothèse que la coupe avantageait nettement le sapin et que l'épinette se voyait complètement dominée tout au long de la révolution. Ceci laisserait croire que les sites à composante d'épinette noire et soumis à des coupes totales seraient aussi sujets à l'ensapinage. Par contre, l'évaluation de la dynamique de la régénération effectuée à l'échelle des aires montre que le sapin pourrait être plus agressif notamment sur les sites les plus riches, et non pas sur l'ensemble des conditions du site. En effet, les études de *FERIC-CFL* et d'*Abitibi-Price* démontrent que les peuplements d'épinette noire avant coupe devraient se reconstituer en des peuplements d'épinette et que rien ne laisse présager une amélioration évidente du statut dominant de la représentation du sapin. Cela démontre bien la nécessité d'éviter un jugement trop hâtif du portrait de la régénération à long terme, basé sur des observations effectuées quelques années après la coupe.

Chapitre deux

Effet des caractéristiques de la régénération sur la production à long terme des peuplements

2.1 Fertilité de la station

La fertilité d'un site est un facteur à prendre en compte dans la modélisation de la production d'un peuplement car elle reflète directement le potentiel de croissance des arbres pour une station donnée. L'étude des *aires d'observations du CFL* a montré l'effet positif de l'indice de qualité de station sur la production du peuplement à venir. Il apparaît que les stations les moins fertiles produisent un volume plus faible de bois ce qui, par conséquent, prolongerait la période de révolution du peuplement. Par contre, il semble que l'effet positif de la fertilité de la station sur la production d'un peuplement soit moins clair dans l'étude d'*Abitibi-Price*. En effet, une fois l'indice de diamètre pris en compte, la classe de station (CS) n'est pas corrélée de façon significative à la production résineuse d'épinette et de sapin. La difficulté de mettre en évidence l'influence de la classe de station sur la production s'explique en partie par la stratification de l'échantillon selon les types de peuplement avant coupe lesquels sont en relation avec l'indice de qualité de station.

2.2 Coefficient de distribution

Selon l'étude de *FERIC-CFL*, aucune relation significative n'a été observée entre les volumes à 30 ans des pessières noires et sapinières et le coefficient de distribution de la régénération résineuse observé à 10 ans. De plus, bien qu'on ait retrouvé pour l'ensemble des peuplements un coefficient de distribution supérieur à 60 % à 10 ans, les volumes obtenus à 30 ans sont très variables sauf pour ceux des pinèdes, de sorte que quelques-uns d'entre eux contiendraient un faible volume d'essences principales. Pour bon nombre d'aires, la coupe totale ne permettrait pas de reconstituer des peuplements dont la productivité serait semblable à ceux récoltés précédemment, même si la régénération obtenue après coupe y était souvent abondante. Par contre, la baisse du niveau de régénération, notamment dans les pessières, était plus prononcée que celle souvent observée lorsque des mesures de protection de la régénération étaient préconisées. Cela suppose que l'étude fournirait une vision pessimiste des volumes qui pourraient être obtenus à maturité à la suite de coupes avec protection de la régénération et des sols (CPRS) dans les peuplements d'épinette noire. Néanmoins, elle démontre clairement le faible lien entre le coefficient de distribution de la régénération mesuré à 10 ans et les volumes obtenus à 30 ans.

Dans l'étude de *Abitibi-Price*, la modélisation de la production résineuse à l'échelle du peuplement et celle de la production en sapin et épinette à l'échelle des espèces, n'ont pas permis de déceler un effet significatif du coefficient de distribution de la régénération, évalué à cinq ans (CDR_5), sur le rendement des résineux des peuplements. Dans ce cas-ci, le CDR_5 a un très faible pouvoir explicatif de la variation de la production des peuplements à l'étude. L'influence du CDR_5 est alors fort probablement atténuée par d'autres variables, notamment la taille de la régénération.

2.3 Taille et structure

L'influence prépondérante de la taille et de la structure de la régénération sur la productivité à long terme des peuplements a été rapportée dans les trois études du présent travail. Afin de refléter un portrait assez juste de la régénération, l'étude de *FERIC-CFL* utilise un coefficient de distribution des meilleurs sujets résineux. Ce coefficient rallie à la fois la notion de l'abondance des résineux et des feuillus et la taille relative de la régénération. Bien qu'aucune relation significative n'ait été remarquée entre ce coefficient à 10 ans et la productivité à 30 ans, l'examen de la densité des tiges résineuses et feuillues selon la classe de hauteur et de diamètre permet de juger de l'importance de la taille et de la structure de la régénération sur les volumes à plus long terme. Règle générale, les aires pourvues de nombreuses tiges résineuses dans les classes de hauteur les plus élevées fourniront un meilleur volume de résineux à maturité. Cette observation est d'autant plus vraie lorsque les feuillus sont peu abondants ou qu'ils sont de faible taille.

Dans l'étude sur les *aires d'observations du CFL*, la croissance de la régénération préétablie depuis la coupe a été modélisée en fonction de différentes caractéristiques du peuplement, notamment la taille de la régénération. Les résultats démontrent l'influence positive de cette variable sur le volume à long terme des peuplements. On prend en compte, dans ce cas, un indice de diamètre qui fournit l'image juste de la taille de la régénération après coupe. Cet indice est calculé en se servant du diamètre moyen des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare, 10 ans après la coupe totale. Les résultats démontrent que, plus l'indice de diamètre à 10 ans est élevé, plus la productivité de la station sera grande et par conséquent, plus la période de révolution sera courte. À un âge fixé à 50 ans,

maintenir des tiges de 6 cm de diamètre, 10 ans après la coupe, réduirait la période de révolution de 5 à 26 ans pour les pessières et de 12 ans pour les sapinières, par rapport à un peuplement où aucune régénération n'aurait encore atteint le dhp à cette même période.

L'étude d'*Abitibi-Price* démontre aussi l'importance de la taille de la régénération dans la production des peuplements de seconde venue. La dimension moyenne des tiges qui forment le couvert principal, exprimée selon l'indice de diamètre des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare mesuré à cinq ans, a été utilisée afin de modéliser la production résineuse, de l'épinette et du sapin. De façon générale, les placettes pourvues d'un fort indice de diamètre ont une production supérieure à celles où l'indice observé est faible. La protection des tiges de bonne taille lors des opérations pourrait alors réduire de façon significative la période de révolution des peuplements.

Bien que l'abondance de la régénération, exprimée tant en densité qu'en distribution des tiges, soit aussi un facteur à prendre en compte, les trois études démontrent clairement l'influence prédominante de la structure et la taille de la régénération pour l'estimation de la production du peuplement à venir. Une régénération de forte taille a un effet positif sur la productivité des peuplements à long terme. Il semble que les tiges de bonne dimension établies avant la coupe et protégées lors de la récolte soient en mesure de garder leur position dominante sur les semis de faible hauteur. De plus, leur hauteur supérieure les place dans une bonne position pour concurrencer les feuillus, ce qui se traduirait par une meilleure croissance des tiges et un âge d'exploitabilité qui serait atteint plus rapidement. L'aménagiste a donc tout intérêt à protéger la haute régénération lors de la coupe, particulièrement si l'objectif poursuivi est la production de matière ligneuse. Cette façon de faire pourrait assurer une remise en production plus rapide des parterres de coupe et permettrait de réduire les coûts associés au reboisement. De plus, afin de mieux évaluer la productivité de cette régénération, des caractéristiques tels le pourcentage de cime vivante et l'importance des blessures causées lors des opérations devraient être intégrées aux inventaires subséquents à la coupe. On serait alors en mesure de mieux prévoir la survie et le développement de la régénération à long terme.

Un indice de diamètre calculé quelques années (cinq et dix ans) après la coupe a servi à caractériser à la fois la dimension et l'abondance de la régénération. Pour être un outil efficace de prévision, un tel indice doit être en mesure de détecter un effet de la taille de la régénération sur la production d'un peuplement à long terme. Or, selon les études des *aires d'observations du CFL* et d'*Abitibi-Price*, l'accroissement de la valeur de l'indice de diamètre semble provoquer une augmentation de la production des peuplements à venir. On peut donc présumer que cet indice est une mesure efficace et il serait alors avantageux de le prendre en compte dans les modèles de croissance afin d'améliorer la prévision de la productivité des peuplements. Ceci, par le fait même, améliorerait la crédibilité des hypothèses de production formulées dans le Manuel d'aménagement tout en fournissant une meilleure prévision des effets réels de la coupe avec protection de la régénération et des sols.

Références bibliographiques

ACHIM, A., 1998. *Évolution de la croissance en hauteur des tiges d'épinettes noires (*Picea mariana *[Mill.] BSP) et de sapins baumier (*Abies balsamea *[L.] Mill.) se trouvant ensemble dans la régénération des sites ayant subi une coupe à blanc mécanisée 30 ans auparavant.* Mémoire de fin d'études. Université Laval. 43 p.

ARCHAMBAULT, L., J. MORISSETTE et M. BERNIER-CARDOUE, 1998. *Forest succession over a 20-year period following clearcutting in balsam fir - yellow birch - ecosystems of eastern Québec. Canada.* For. Ecol. Manage. 102 : 61-74.

ARCHAMBAULT, L., R.R. GAGNON, G. PELLETIER, M. CHABOT et L. BÉLANGER, 1990. *Influence du drainage et de la texture du dépôt sur la vulnérabilité du sapin baumier et de l'épinette blanche aux attaques de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.* Can. J. For. Res. 20 : 750-756.

ARCHIBALD, D.J. et R.W. ARNUP, 1993. *The management of black spruce advance growth in northeastern Ontario.* Northeast Sci. and Technol., Ont. Min. Nat. Resour., Timmins, Ont. Tech. Rep. 008. VMAP Rep. No. 93-05. 32 p.

BÉGIN, J., 1996. *Anatige.* Faculté de foresterie et de géomatique. Université Laval, Québec.

BÉGIN, J. et F. RAULIER, 1995. *Comparaison de différentes approches, modèles et tailles d'échantillon pour l'établissement de relations hauteur-diamètre locales.* Can. J. For. Res. 25 : 1303-1312.

BÉGIN, J., L. BÉLANGER, J. PFALZGRAF et M. PINEAU, 1990. *Qualité de station et production dans des érablières rouges de la plaine de Drummondville, Québec.* For. Chron. : 377-387.

BÉLANGER, L., S. PAQUETTE, S. MOREL, J. BÉGIN, P. MEEK, L. BERTRAND, P. BEAUCHÊNE, S. LEMAY et M. PINEAU, 1995. *Indices de qualité de station du sapin baumier dans le sous-domaine écologique de la sapinière à bouleau blanc humide.* For. Chron. 71 : 317-325.

BERTRAND, L., L. BÉLANGER et R.L. BEAUREGARD, 1992. *Croissance de sapinières à bouleau blanc boréales issues de coupe avec protection de la régénération.* Can. J. For. Res. 22 : 1701-1711.

BOILY, J. et R. DOUCET, 1993. *Croissance juvénile de marcottes d'épinette noire en régénération après récolte du couvert dominant.* Can. J. For. Res. 23 : 1396-1401.

BOLGHARI, H. et P-É. VÉZINA, 1974. *Estimation de l'accroissement et de la production des sapinières de diverses densités.* Ministère des Terres et Forêts, Service de la recherche. Mémoire n° 18. 44 p.

BOUDOUX, M., 1978. *Tables de rendement empiriques pour l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris au Québec.* Conseillers en gestion des forêts, ministère des Terres et Forêts du Québec, Québec. 101 p.

BOWLING, C. et G. NIZNOWSKI, 1991. *Factors affecting jack pine cone and seed supply after harvesting in Northwestern Ontario.* OMNR, NOFTDU, Techn. Rep. 63. 19 p.

BRAND, D.G. et G.F. WEETMAN, 1986. *Standards for regeneration establishment in Canada : a case study for Douglas-fir.* For. Chron. 62 : 84-90.

BRUMELIS, G. et T.J. CARLETON, 1988. *The vegetation of postlogged black spruce lowlands in central Canada.* 1. Trees and tall shrubs. Can. J. For. Res. 18 : 1470-1478.

CARLETON, T.J., 1982. *The pattern of invasion and establishment of* Picea mariana *(Mill.) BSP into the canopy layers of* Pinus banksiana *Lamb.* Dominated stands. Can. J. For. Res. 12 : 973-984.

CÔTÉ, S. et L. BÉLANGER, 1991. *Variations de la régénération préétablie dans les sapinières boréales en fonction de leurs caractéristiques écologiques.* Can. J. For. Res. 21 : 1779-1795.

DOUCET, R., 1988. *La régénération préétablie dans les peuplements forestiers naturels au Québec.* For. Chron. 64 : 116-120.

DOUCET, R., 2000. *L'envahissement des parterres de coupe par le sapin est-il inévitable?* L'Aubelle : 11-13.

DOUGET, R. et G. SHEEDY, 1993. *Mesure des effets réels des traitements sylvicoles. Coupe avec protection de la régénération ou ensemencement artificiel pour la production prioritaire de résineux.* Synthèse des informations disponibles et évaluation des besoins de recherche. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts. Rapport interne n° 335. 29 p.

DOUGET, R. et J. BOILY, 1995. *Croissance en hauteur de régénération d'épinette noire et de sapin - baumier après coupe.* Ministère des Ressources naturelles du Québec. Note de recherche forestière n° 68.

EIS, S., 1981. *Effect of vegetative competition on regeneration of white spruce.* Can. J. For. Res. 11 : 1-8.

ELLIS, R.C. et C.R. MATTICE, 1974. *Stand development following pulpwood harvesting at the Experimental Lakes area in northwest Ontario.* Can. Dept. Env., Can. For. Serv. Inf. Rep. O-X-207. 43 p.

FLEMING, R.L. et D.S. MOSSA, 1996. *Seed release from black spruce cones in logging slash.* Can. J. For. Res. 26 : 266-276.

FRANK, R.M., 1990. Abies balsamea *(L.) Mill.* Dans : Burns R.M. et B.H. Honkala. Silvics of North America. I. Conifers. Agriculture Hanbook no. 654. USDA Forest Service, Washington D.C. Vol. 1. 675 p.

FRISQUE, G. et P.E. VÉZINA, 1977. *Reproduction de l'épinette noire (*Picea mariana*) après coupe à blanc de superficie réduite.* Can. J. For. Res. 4 : 648-655.

FRISQUE, G., G.F. WEETMAN et E. CLEMMER, 1978. *Analyse, dix ans après coupe de bois à pâte, des problèmes de régénération dans l'Est du Canada.* Institut canadien de recherches en génie forestier. Rapport technique n° RT-23.

GINGRAS, J.-F., 1990. *Les méthodes d'exploitation favorisant la protection de la régénération : l'expérience du Québec.* FERIC. Récolte des bois. Fiche technique FT-144.

GOELZ, J.C.D. et T.E. BURK, 1992. *Development of a well-behaved site index équation : jack pine in north central Ontario.* Can. J. For. Res. 22 : 776-784.

GROOT, A., 1996. *Regeneration and surface condition trends following forest harvesting on peatlands.* Northern Forestry program, NODA/NFP techn. rep. TR-26. 12 p.

GUAY R., R. GAGNON et H. MORIN, 1992. *A new automatic and interactive tree ring measurement system based on a line scan camera.* For. Chron. 69 : 138-141.

HAAVISTO, V.F., 1979. *Some considerations for regenerating black spruce on peatland in the Northern Clay Forest Section, Ontario.* Can. Serv., Great Lakes For. Cent. Rep. O-X-295. 32 p.

HARVEY, B.D., A. LEDUC et Y. BERGERON, 1995. *Early postharvest succession in relation to site type in the southern boreal forest of Québec.* Can. J. For. Res. 25 : 1658-1672.

HARVEY, B.D. et Y. BERGERON, 1989. *Site patterns of natural regeneration following clear-cutting in Northwestern Quebec.* Can. J. For. Res. 8 : 1458-1469.

HATCHER, R.J., 1960. Croissance du sapin baumier après une coupe rase dans le Québec. Direction des forêts. Environnement Canada. Mémoire technique n° 87.

HATCHER, R.J., 1963. *Jack pine cut-over and fire origin stands, Vermillon river, Quebec. Progress report 1951 to 1961. (project Q-39).* Can. Dep. For. For. Res. Branch., Quebec district. Rapport interne. 10 p.

JONES, R.K., G. PIERPOINT, G.M. WICKWARE, J.K. JEGLUM, R.W. ARNUP et J.M. BOWLES, 1983. *Field guide to forest ecosystem classification for the clay belt, site region 3e.* Ont. Min. Nat. Resour., Toronto, Ontario.

LAFLECHE, V., J.-C. RUEL et L. ARCHAMBAULT, 2000. *Évaluation de la coupe avec protection de la régénération et des sols comme méthode de régénération de peuplements mélangés du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'est du Québec, Canada.* For. Chron. 76 : 653-663.

LAROCQUE, G.R., W.J. PARTON et D.J. ARCHIBALD, 1996. *Fonctions polymorphes de productivité de site pour l'épinette noire selon divers types écologiques dans le nord de l'Ontario.* Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Sainte-Foy, Québec. Rapport technique NEST TR-033.

LEBART, L., A. MORINEAU et K.M. WARWICK, 1986. *Multivariate descriptive statistical analysis, correspondence analysis and related techniques for large matrices.* Wiley & Sons, inc.

LUSSIER, J.-M., H. MORIN et R. GAGNON, 1992. *Comparaison de la croissance de marcottes d'épinette noire* (Picea mariana) *adultes après coupe à celle d'individus issus de graine après feu.* Can. J. For. Res. 22 : 1524-1535.

MACARTHUR, J.D., 1959. *A report on the establishment of observation area No. 15, Matane freehold limits of the Hammermill Paper Company.* Can. Dep. For. Res. Branch., Région de Québec, Québec. Rapport interne. 35 p.

MacDonell, M.R. et A. Groot, 1997. *Harvesting peatland black spruce : Impacts on advance growth and site disturbance.* For. Chron. 73 : 249-255.

MacLean, D.A. et M.G. Morgan, 1983. *Long-term growth and yield response of young fir to manual and chemical release from shrub competition.* For. Chron. 59 : 177-183.

Ministère des Ressources naturelles du Québec, 1994. *Une stratégie : Aménager pour mieux protéger les forêts.* Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec. 197 p.

Ministère des Ressources naturelles du Québec, 1998a. *Manuel d'aménagement forestier.* 3e édition. 122 p.

Ministère des Ressources naturelles du Québec, 1998b. *Programme de connaissance des écosystèmes forestiers du Québec méridional. Rapport de classification écologique. Sapinière à bouleau jaune de l'ouest.* Gouvernement du Québec, Service de l'évaluation de l'offre/Service de la recherche appliquée.

Ministère des Ressources naturelles du Québec, 1998c. *Programme de connaissance des écosystèmes forestiers du Québec méridional. Rapport de classification écologique. Sapinière à bouleau blanc de l'est.* Gouvernement du Québec, Service de l'évaluation de l'offre/Service de la recherche appliquée.

Ministère des Ressources naturelles du Québec, 1999a. *Programme de connaissance des écosystèmes forestiers du Québec méridional. Rapport de classification écologique. Sapinière à bouleau blanc de l'ouest.* Gouvernement du Québec, Service de l'évaluation de l'offre/Service de la recherche appliquée.

Ministère des Ressources naturelles du Québec, 1999b. *Programme de connaissance des écosystèmes forestiers du Québec méridional. Rapport de classification écologique. Pessière à mousses de l'ouest.* Gouvernement du Québec, Service de l'évaluation de l'offre/Service de la recherche appliquée.

Morin, D., 2001. *Effet des variables stationnelles et du peuplement sur la production forestière après coupe.* Mémoire de maîtrise, Université Laval, Sainte-Foy.

Morin, H. et R. Gagnon, 1992. *Comparative growth and yield of layer- and seed-origin black spruce* (Picea mariana) *stands in Quebec.* Can. J. For. Res. 22 : 465-473.

Newton, P.F., 1990. *Initial size hierarchie development within second-growth black spruce stands.* Can. J. For. Res. 20 : 1720-1731.

Ouellet, F., 1996. *Évolution de la régénération d'épinette noire* (Picea mariana *[Mill.] BSP) à la suite d'une coupe à blanc mécanisée et modélisation de la croissance en phase juvénile.* Mémoire de maîtrise, Université Laval. 147 p.

Page, G., 1976. *Quantitative evaluation of site potential for spruce and fir in Newfoundland.* Forest Sci. 22 : 131-143.

Paquin, R. et R. Doucet, 1992. *Productivité de pessières noires boréales régénérées par marcottage à la suite de vieilles coupes totales au Québec.* Can. J. For. Res. 22 : 601-612.

Parent, S. et C. Messier, 1995. *Effet d'un gradient de lumière sur la croissance en hauteur et la morphologie de la cime du sapin baumier régénéré naturellement.* Can. J. For. Res. 25 : 878-885.

Perron, J.-Y., 1985. *Tarif de cubage général, volume marchand brut.* Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources. 55 p.

Pfalzgraf, J., 1970. *Régénération et croissance après coupe de forêts de divers types.* Canadian Pulp and Paper Ass. Woodlands Section, WS Index 2585 (F1) DC 231. 12 p.

Plonski, W.L., 1960. *Normal yields table for black spruce, jack pine, white birch tolerant hardwoods, white pine, and red pine.* Ont. Department of Lands and Forests, Silvicultural Series, Bulletin no. 2.

Plonski, W.L., 1981. *Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario.* Forest Resources Group, Ontario Ministry of Natural Resources.

Plusquellec, R., 1997. *Croissance juvénile du sapin baumier* (Abies balsamea *[L] Mill.) après coupe à blanc mécanisée.* Mémoire de maîtrise, Université Laval. 128 p.

Pominville, P., 1993. *Évolution quinquennale de la régénération protégée lors de récoltes par abattage manuel dans des sapinières.* For. Chron. 69 : 569-578.

Pominville, P. et R. Doucet, 1993. *Coefficients de distribution de la régénération nécessaires au maintien de la production des peuplements de pin gris, d'épinette noire et de sapin baumier.* Gouvernement du Québec, ministère des Forêts. Note de recherche n° 48.

Pominville, P. et J.-C. Ruel, 1995. *Effets de la coupe à blanc et de la coupe par bandes sur la régénération obtenue après cinq ans dans des pessières noires du Québec.* Can. J. For. Res. 25 : 329-342.

Pothier, D., 1996. *Évolution de la régénération après la coupe de peuplements récoltés selon différents procédés d'exploitation.* For. Chron. 72(5) : 519-527.

POTHIER, D. et F. SAVARD, 1998. *Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec. 183 p.

POTHIER, D., R. DOUCET et J. BOILY, 1995. *The effect of advance regeneration height on future yield of black spruce stands*. Can. J. For. Res. 25 : 536-544.

RAYMOND, P., 1998. *Efficacité du système de régénération par coupes progressives dans les sapinières boréales riches : Résultats cinq ans après la coupe d'ensemencement*. Mémoire de maîtrise, Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Sainte-Foy. 188 p.

RICHARDS, F.J., 1959. *A flexible growth function for empirical use*. J. Exp. Bot. 10 : 290-300.

RICHARDSON, J., 1975. *Regeneration after disturbance in Newfoundland forests : patterns, problems and prescription*. Newf. For. Res. Cent. Inf. Rep. N-X-166. 21 p.

RIOPEL, M., 1999. *Potentiel de croissance de la haute régénération préétablie de sapin baumier : Une analyse dendrométrique au niveau de la tige et du peuplement*. Mémoire de maîtrise, Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Sainte-Foy. 149 p.

ROBITAILLE, A. et J.-P. SAUCIER, 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional*. Les publications du Québec. 213 p.

RUEL, J.-C., 1988. *The impact of harvesting on advance regeneration in Quebec*. Canadian Forests Industries. 108(7) : 63-66.

RUEL, J.-C., 1989. *Importance de la régénération préexistante dans les forêts publiques du Québec*. Ann. Sci. For. 46 : 345-359.

RUEL, J.-C., 1991. *Advance growth abundance and regeneration patterns after clearcuting in Quebec*. *Dans* Proc. Conference on Natural Regeneration Management, Fredericton, N.-B., 27-28 March, 1990 : 115-131.

RUEL, J.-C., 1992a. *Abondance de la régénération cinq ans après la coupe à blanc mécanisée de peuplements d'épinette noire*. Can. J. For. Res. 22 : 1630-1638.

RUEL, J.-C., 1992b. *Impact de la compétition exercée par le framboisier (*Ribus Idaeus *L.) et les feuillus de lumière sur la croissance du sapin (*Abies Balsamea *[L.] Mill.) en régénération*. Can. J. For. Res. 22 : 1408-1416.

RUEL, J.-C. et R. DOUCET, 1998. *Élaboration de classes de qualité pour les inventaires de régénération*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 91. 8 p.

RUEL, J.-C., R. DOUCET et J. BOILY, 1995. *Mortality of balsam fir and black spruce advance growth three years after clearcutting*. Can. J. For. Res. 25 : 1528-1537.

RUEL, J.-C., F. OUELLET, R. PLUSQUELLEC et C.-H. UNG, 1998. *Évolution de la régénération de peuplements résineux et mélangés au cours des 30 années après coupe à blanc mécanisée*. For. Chron. 74(3) : 428-444.

SARRAZIN, R., 1991. *Dynamique de sapinières et de pessières boréales sur une période de 40 ans après la coupe*. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi. 70 p.

SAS INSTITUTE INC., 1989. *SAS/STATS User's guide, Version 6, Fourth Edition*. SAS Institute inc., Cary, NC.

SAUCIER, J.-P., 1992. *Croissance et rendement en fonction des types écologiques photo-interprétés de la région écologiques 5a-basse et moyennes Appalaches (Québec)*. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Sainte-Foy.

SAUCIER, J.-P., J.-P. BERGER, H. D'AVIGNON et P. RACINE, 1994. *Le point d'observation écologique : normes techniques*. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de la gestion des stocks forestiers, Service des inventaires forestiers. 116 p.

SAUCIER, J.-P., J.-F. BERGERON, P. GRONDIN et A. ROBITAILLE, 1998. *Les régions écologiques du Québec méridional (3e version) : un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles du Québec*. Aubelle 124 : 1-12.

TREMBLAY, S., J. BÉGIN et L. BÉLANGER, 1997. *Productivité de sapinières boréales de seconde venue en relation avec les caractéristiques des stations*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la rech. for. Mémoire de recherche forestière n° 125. 72 p.

VEER, G., 1954. *Report on the establishment of observation area no. 13, Bell River, B-4, Project Q-59*. Can. Dep. For. For. Res. Branch., Quebec district. Rapport interne.

VEZINA, P.E. et A. LINTEAU, 1968. *Growth and yield of balsam fir and black spruce in Québec*. For. Res. Lab., Quebec Region, Inf. Rep. Q-X-2, Canada Dept. of Forestry and Rural Dev. 58 p.

VÉZINA, P.É [illegible] I. FALARDEAU, 1988. *Le développement de pe[illegible]nents de conifères sur une période de 50 an[illegible]rès la coupe*. For. Chron. 64 : 329-333.

VINCENT, A.B., 1959. *Reproduction du sapin baumier et de l'épinette blanche dans le bassin hydrographique de la rivière Verte*. Min. du Nord Canadien, Div. des recherches sylvicoles. Mém. tech. 40. 29 p.

WALKER, N.R. et H.P. SIMS, 1984. *Jack pine seed dispersal from slash and seedling performance on prepared seedbeds*. Can. For. Serv. North. For. Res. Cent. Inf. Rep. NOR-X-259.

WEBBER, B., J.T. ARNOTT, G.F. WEBBER et G.C.R. CROOME, 1969. *Advance growth destruction slash coverage and ground conditions in logging operation in Eastern Canada*. Pulp. Res. Int. Can. Woodl. Rep 8. 109 p.

WEETMAN, G.F., W.W. GRAPES et G.J. FRISQUE, 1973. *Reproduction et conditions de terrain cinq ans après une récolte de bois à pâte : résultats de 37 aires d'études dans l'Est du Canada*. Inst. rech. pâtes pap. Rapport Exploitation rre/51. 99 p.

ZARNOVICAN, R., 1987. *Analyse de quelques éléments de production forestière de l'Unité de gestion des Chics-Chocs (partie occidentale)*. Serv. can. for., Cent. rech. for. Laurentides. Rapport d'information LAUX-X-74. 32 p.

46	1.525	0.312
39	1.539	0.311
11	0.029	0.008
38	0.123	0.044
20	0.061	0.014
22	0.052	0.012
27	0.041	0.014
16	0.111	0.034
32	0.042	0.012
14	0.026	0.010
18	0.024	0.009

Direction de la recherche forestière

Forêt Québec
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418.643.7994
Télécopieur : 418.643.2165

Site Web : http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche
Courriel : recherche.forestiere@mrnfp.gouv.qc.ca

En couverture 1 - Lac du Cordon près de Saint-Jovite
- Érablière à Tilleul et Hêtre, Forêt de Gatineau
Photographies, Zoran Majcen

- Pédon lac Laflamme

En couverture 4 - Forêt résineuse
- Ordinateur de terrain pour l'enregistrement de mesures

L'étude de la dynamique, de la croissance et de la production forestière, à la suite d'une coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS), menée à l'Université Laval avec l'appui financier de la Direction de la recherche forestière, procure des informations essentielles à un aménagement durable des ressources forestières du Québec.

Les résultats issus de ces recherches peuvent servir, notamment :

- à élaborer les scénarios sylvicoles des plans d'aménagement forestier ;
- à évaluer la possibilité annuelle de coupe;
- à souligner le rôle des stations dans la dynamique forestière après une intervention ou encore ;
- à inciter les intervenants forestiers à protéger et à promouvoir la régénération pré-établie.

Ressources naturelles, Faune et Parcs
Québec

ISBN 2-550-43552-4
F.D.C. 231(047.3)(714)
L.C. SD387.C58
2004-3042

© Gouvernement du Québec
On peut citer tout ou partie de ce texte en indiquant la référence